

**REHABILITACIÓN DE FRESADORA DIDÁCTICA CNC E INTEGRACIÓN A  
UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE DE MECANIZADO**

**JUAN CARLOS CARDONA GUEVARA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA  
PEREIRA  
2020**

**REHABILITACIÓN DE FRESADORA DIDÁCTICA CNC E INTEGRACIÓN A  
UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE DE MECANIZADO**

**JUAN CARLOS CARDONA GUEVARA**

**Código 1061372433**

**Trabajo de grado para optar al Título de Tecnólogo en Mecánica**

**Director**

**CARLOS ALBERTO MONTILLA MONTAÑA**

**I.M. – M.Sc.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS**

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**2020**

Nota de aceptación

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Pereira, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Tecnológica de Pereira, por haberme permitido formarme en ella y a las personas partícipes en este proceso.

Al encargado del Laboratorio de Modelos José Luis Salazar, colaborador durante éste proceso.

A los Ingenieros Wilson Pérez y Yesid Moreno, quienes de manera desinteresada me colaboraron durante la realización de este trabajo.

Mi sincera gratitud al Ingeniero Carlos Alberto Montilla, quien con su dirección, conocimiento, disponibilidad y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

A mis padres por su amor, apoyo y sacrificio durante mis estudios, gracias a ellos he llegado hasta aquí y me han dado lo que soy como persona.

## CONTENIDO

	Pág.
Listado de figuras .....	7
Listado de tablas.....	9
Resumen .....	10
Introducción .....	11
Metodología empleada .....	11
Objetivos .....	12
1. Descripción de hardware y software inicial .....	13
1.1 Descripción de hardware .....	13
1.1.1 G540 Controlador de motor de pasos 4 ejes.....	13
1.1.2 Motores paso a paso .....	15
1.1.3 Acoples.....	16
1.1.4 Husillos de bolas.....	16
1.1.5 Guías de movimiento lineal.....	17
1.1.6 Mototool Dremel 300.....	18
1.1.7 Fuente de poder .....	18
1.1.8 Botón parada de emergencia.....	19
1.2 Software inicial .....	20
1.2.1 Software de control <i>Mach3</i> .....	20
2. Descripción de alistamiento de la máquina.....	21
2.1 Rehabilitación mecánica y eléctrica de la fresadora CNC.....	21
2.1.1 Cambio de la tarjeta de control G540.....	21
2.1.2 Acondicionamiento de la maleta de control .....	24
2.1.3 Acondicionamiento de guías lineales y husillos roscados .....	26
2.2 Configuración del software Mach3 para la fresadora.....	27
2.2.1 Definición de dirección del puerto a utilizar .....	27
2.2.2 Definición de señales de entrada y salida utilizadas por la máquina .....	28
2.2.3 Configuración de pasos del motor por unidad de desplazamiento .....	29
2.2.4 Configuración de velocidad de los motores.....	32
2.2.5 Configuración del <i>Home</i> y límites suaves .....	33
2.3 Selección de herramienta de corte .....	36
3. Requerimientos para la integración .....	38

3.1 Base de sujeción automática.....	38
3.1.1 Placa base.....	39
3.1.2 Pallets o apoyos .....	40
3.1.3 Placa de sujeción.....	42
3.1.4 Cilindro neumático y válvula solenoide .....	42
3.2 Programas en código G para mecanizado de las 3 piezas.....	44
4. Manual de operación .....	47
4.1 Conexiones previas.....	47
4.2 Acciones básicas en Mach3 .....	49
4.2.1 Encendido de la máquina.....	50
4.2.2 Realizar movimientos de la máquina manualmente .....	50
4.2.3 Mando de la máquina mediante órdenes de código G .....	54
4.2.4 Apagado de la máquina .....	54
4.3 Configurar ceros de pieza .....	56
4.4 Ejecutar un programa de código G.....	58
5. Resultados y conclusiones .....	62
5.1 Resultados .....	62
5.2 Conclusiones.....	65
6. Recomendaciones .....	67
7. Bibliografía.....	68
8. Anexos .....	69
Anexo A. Planos tecnológicos de la base de sujeción automática.....	69
Anexo B. Programas de mecanizado en código-G usados.....	76

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Configuración de hardware y software inicial. ....	13
Figura 2. Vista general tarjeta controladora G540. ....	13
Figura 3. Diagrama de puertos controlador G540 ....	14
Figura 4. Vista general motor de pasos. ....	15
Figura 5. Vista general acople de araña. ....	16
Figura 6. Husillo de bolas. ....	17
Figura 7. Conjunto guía y rodamiento lineal. ....	17
Figura 8. Mototool Dremel 300. ....	18
Figura 9. Fuente de poder. ....	19
Figura 10. Botón de parada de emergencia. ....	19
Figura 11. Interfaz de control <i>Mach3</i> . ....	20
Figura 12. Tarjeta de interfaz CNC. ....	22
Figura 13. Esquema del montaje de prueba para los motores y la tarjeta de interfaz CNC. ....	22
Figura 14. Vista del segundo montaje realizado. ....	23
Figura 15. Vista interior de la maleta de control inicialmente. ....	24
Figura 16. Vista interior de la maleta de control. ....	25
Figura 17. Entradas y salidas de la maleta de control. ....	26
Figura 18. Estado de los husillos roscados. ....	26
Figura 19. Antes y después de las guías lineales. ....	27
Figura 20. Ventana de configuración del puerto utilizado. ....	27
Figura 21. Configuración de los pines para los motores y husillo. ....	28
Figura 22. Configuración señales de entrada. ....	29
Figura 23. Ventana para configuración de pasos por unidad. ....	30
Figura 24. Montaje para medición en el eje X. ....	30
Figura 25. Montaje para medición eje Y. ....	31
Figura 26. Montaje para medición eje Z. ....	31
Figura 27. Perfil de velocidad eje X. ....	32
Figura 28. Perfil de velocidad eje Y. ....	32
Figura 29. Perfil de velocidad eje Z. ....	33
Figura 30. Ventana para configuración del Home. ....	33
Figura 31. Ventana MDI para ingresar funciones por código. ....	34
Figura 32. Configuración de límites suaves. ....	35
Figura 33. Vista del botón <i>Soft Limits</i> y casilla <i>Status</i> . ....	35
Figura 34. Fresa tangencial de múltiples filos. ....	36
Figura 35. Fresa para madera de un filo. ....	37
Figura 36. Mecanizado con herramienta multifilo. ....	37
Figura 37. Mecanizado con herramienta monofilo. ....	37
Figura 38. Mesa de trabajo de la fresadora CNC. ....	38
Figura 39. Vista de las perforaciones de la placa base. ....	40
Figura 40. Vista de las piezas que se deben sujetar en la base de sujeción. ....	40
Figura 41. Vista de los útiles para sujeción de piezas cilíndricas. ....	41
Figura 42. Vista de los pallets impresos. ....	41

Figura 43. Vista de la placa de sujeción.....	42
Figura 44. Vista cilindro neumático de la base de sujeción. ....	42
Figura 45. Válvula solenoide.....	43
Figura 46. Esquema del circuito neumático de la base de sujeción. ....	44
Figura 47. Vista de la pieza A mecanizada. ....	45
Figura 48. Vista de la pieza B mecanizada. ....	45
Figura 49. Vista de la pieza C mecanizada. ....	46
Figura 50. Puertos y cables de los motores de cada eje coordinado. ....	47
Figura 51. Tomacorriente para alimentación de mototool. ....	47
Figura 52. Conexión con el puerto paralelo.....	48
Figura 53. Alimentación de la tarjeta de interfaz CNC.....	48
Figura 54. Conexión para alimentación de la maleta de control.....	49
Figura 55. Conexión de alimentación neumática.....	49
Figura 56. Encendido de la máquina.....	50
Figura 57. Selección de perfil en Mach3. ....	51
Figura 58. Ventana Program Run. ....	51
Figura 59. Movimiento manual de los ejes de la máquina. ....	52
Figura 60. Ventana de velocidad de avance lento.....	53
Figura 61. Vista del selector de velocidad del mototool de la máquina. ....	53
Figura 62. Vista de la ventana para ingreso manual de datos.....	54
Figura 63. Procedimiento para apagado de la máquina. ....	55
Figura 64. Ventana para configuración de ceros de pieza. ....	56
Figura 65. Vista de la ventana <i>Work Offsets</i> . ....	57
Figura 66. Visualización de las coordenadas absolutas actuales. ....	57
Figura 67. Configuración del cero de pieza.....	58
Figura 68. Vista de la familia de control de ejecución de programa. ....	59
Figura 69. Selección del archivo del programa de mecanizado. ....	59
Figura 70. Programa cargado en <i>Mach3</i> .....	60
Figura 71. Vista de la ventana ToolPath. ....	60
Figura 72. Ejecución de programa. ....	61
Figura 73. Vista de las dimensiones medidas a la pieza A.....	62
Figura 74. Vista de las dimensiones medidas a la pieza B.....	63
Figura 75. Vista de las dimensiones medidas a la pieza C. ....	64



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Análisis dimensional de la pieza A. ....	63
Tabla 2. Análisis dimensional de la pieza B. ....	64
Tabla 3. Análisis dimensional de la pieza C. ....	65

## **RESUMEN**

En el Laboratorio de Manufactura Flexible de la Universidad Tecnológica de Pereira se cuenta con una celda de manufactura flexible FMC de mecanizado [1]. Dicha FMC actualmente solo cuenta con una máquina real, un torno CNC, por lo que se requiere dotarla con una máquina CNC adicional ya que, por principio, una FMC debe estar compuesta como mínimo por dos máquinas CNC.

Se optó por rehabilitar una máquina fresadora CNC que fue construida en el año 2013 como trabajo de grado [2]. Esta fresadora ha recibido diversas modificaciones en cuanto a su funcionalidad después de haber sido construida; lo último que se hizo con ésta fue una adaptación para que funcionara como máquina de medición por coordenadas.

Ahora se debe habilitar nuevamente como fresadora que es para lo que se construyó originalmente. Para integrarla a la celda de manufactura flexible FMC es necesario diseñar y construir una base con sujeción automática para las piezas que se van a procesar, y se deben habilitar señales eléctricas enviadas desde el programa monitor de la FMC que inicien y finalicen los programas de mecanizado.

## INTRODUCCIÓN

Una celda de manufactura flexible es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto, y que además permiten la fabricación de series medianas de dicho producto; el aspecto flexible de una celda flexible de manufactura indica que no está restringida a sólo un tipo de parte o proceso, más bien puede acomodarse fácilmente a distintas partes y productos, usualmente dentro de familias con propiedades físicas y características dimensionales similares.

Una celda de manufactura flexible (FMC por sus siglas en inglés) está conformada por dos o más máquinas de control numérico, un brazo de robot o manipulador, sistemas automáticos de cambios de pieza y de herramienta, sistemas de transporte entre equipos, almacenes de entrada/salida y un PC desde el cual se controla y supervisa la operación de la celda [1].

En la Universidad Tecnológica de Pereira se cuenta con una FMC didáctica de mecanizado [1]. Dicha FMC actualmente solo cuenta con una máquina real, un torno CNC, por lo que se requiere dotarla con una máquina CNC adicional ya que, por principio, una FMC debe estar compuesta como mínimo por dos máquinas CNC, por lo que se decidió rehabilitar e integrar una fresadora CNC para cumplir con los requerimientos de la FMC.

En el presente trabajo se describe la metodología empleada para llevar a cabo la rehabilitación de una fresadora CNC, con el fin de integrarla a la FMC existente y potenciar su operación. Se describe el hardware y software con el que contaba la máquina inicialmente, se describen los requerimientos necesarios para la integración a la FMC, se presenta el manual de operación de la fresadora CNC, las conclusiones y resultados obtenidos y las recomendaciones para un futuro mejoramiento de la máquina.

## METODOLOGÍA EMPLEADA

- Realizar el desarme de la máquina, lijar las partes que estén oxidadas y lubricar principalmente las guías lineales.
- Desmontar los accesorios que fueron usados en el anterior proyecto que no sean necesarios para la función de la fresadora.
- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los motores.
- Comprender la utilización del software *Mach3* [3] para controlar la máquina.
- Comprobar el estado de funcionamiento de la tarjeta controladora *Gecko 540*, para determinar si se va a utilizar o si se implementará el uso de otro controlador.
- Adquirir la tarjeta de interfaz CNC.

- Realizar la conexión de los drivers de la tarjeta *Gecko 540* con la nueva tarjeta interfaz CNC adquirida.
- Operar la máquina utilizando el programa Mach3.
- Montar y sujetar el mototool en la máquina.
- Realizar las conexiones del mototool para que sea controlado por la tarjeta controladora [4].
- Diseñar la base de sujeción para las piezas que van a ser mecanizadas por la fresadora.
- Realizar el modelo en CAD de la base de sujeción y los planos de las piezas a mecanizar.
- Construir la base de sujeción.
- Examinar las conexiones neumáticas disponibles en el laboratorio de manufactura flexible para la función del actuador de la base de sujeción.
- Hacer pruebas de funcionamiento de la máquina.
- Nivelar los pallets de la base de sujeción.
- Instalar la fresadora en el laboratorio de manufactura flexible.
- Elaborar los programas CAM y probar su correcta operación.
- Habilitar señales eléctricas que inicien y finalicen los programas de mecanizado.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Rehabilitar e integrar una fresadora didáctica CNC a una celda flexible de manufactura de mecanizado FMC.

### **Objetivos específicos:**

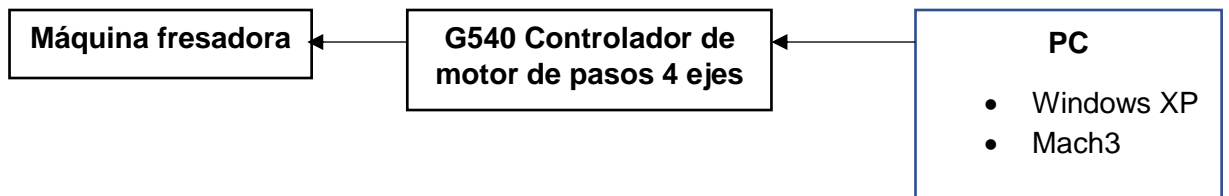
- Limpiar, lubricar y ajustar las partes móviles de la máquina.
- Rehabilitar eléctricamente la máquina.
- Diseñar y construir una base para la sujeción de piezas.
- Habilitar señales eléctricas para iniciar y finalizar los programas de mecanizado.
- Elaborar los programas CAM y probar su correcta operación.

## 1. DESCRIPCIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE INICIAL

En este capítulo se presenta la composición inicial en cuanto a hardware y software de la fresadora didáctica CNC.

En la figura 1, se presenta un esquema general que muestra el hardware y software existente antes de iniciar el trabajo de rehabilitación e integración de la máquina.

Figura 1. Configuración de hardware y software inicial.

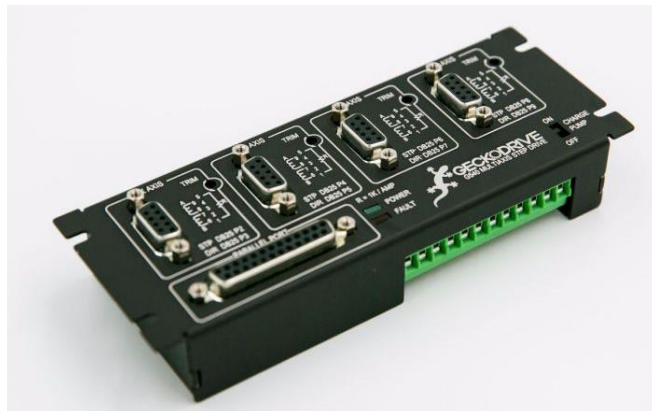


### 1.1 Descripción de hardware

#### 1.1.1 G540 Controlador de motor de pasos 4 ejes

Su función principal es tomar las señales provenientes del computador generadas por el software Mach3 y accionar los 3 motores de paso de los ejes, además a este se conecta el botón de parada de emergencia. La figura 2 muestra una vista general del controlador.

Figura 2. Vista general tarjeta controladora G540.



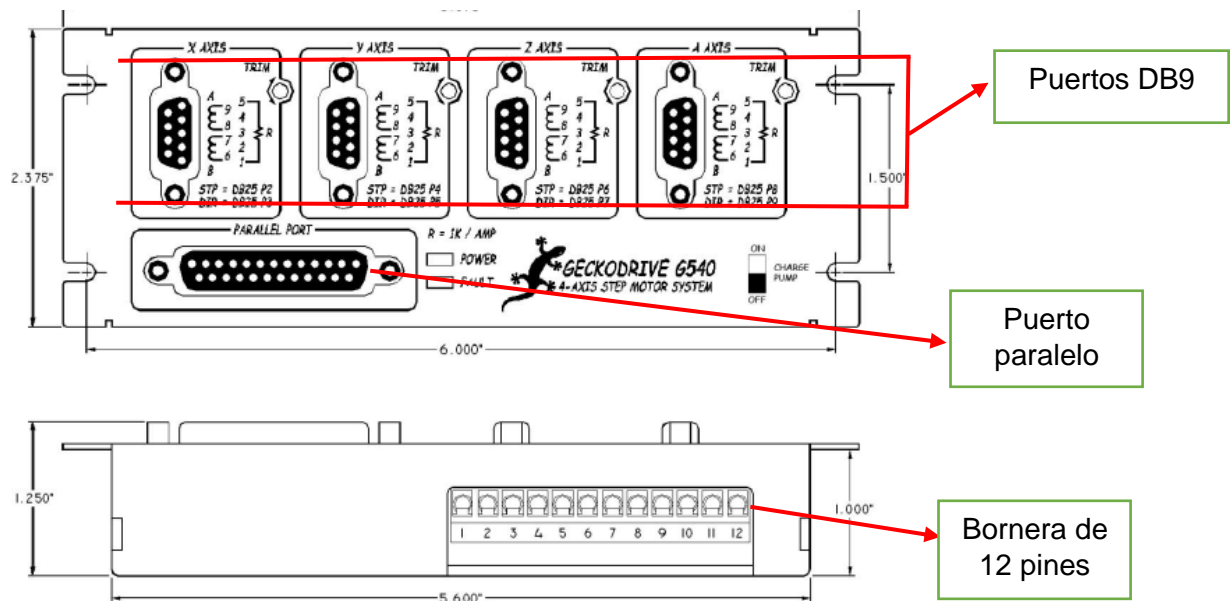
Entre las funciones que realiza el controlador están las siguientes:

- Calcular la posición de los ejes y los desplazamientos de la máquina.
- Controlar los diferentes modos de funcionamiento de la máquina.
- Dirigir todas las señales que van o vienen de los diferentes periféricos.

### Especificaciones

- El controlador G540 debe alimentarse con una fuente de 24V.
- Los motores no deben exceder los 5A.
- Posee un puerto paralelo para la conexión con el computador.
- 4 puertos DB9 para conectar los motores.
- 12 pines para conectar su alimentación y diferentes periféricos que puede controlar, salidas o entradas. En la figura 3 se muestra un diagrama con los diferentes puertos.

Figura 3. Diagrama de puertos controlador G540



El controlador G540 fue entregado en mal estado, después de dedicar tiempo intentando ponerlo en funcionamiento se llegó a la conclusión de que estaba dañado, se obtuvo que del controlador no salían señales hacia los motores y por tal motivo se tuvo que adquirir un nuevo controlador. Consultando la bibliografía [5] puede encontrar información del controlador G540 en más detalle.

### 1.1.2 Motores paso a paso

Los motores usados son motores paso a paso bipolares híbridos, estos motores presentan las ventajas de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento, baja vibración, alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como  $1,8^\circ$ . En la figura 4 se muestra una vista general del motor.

Figura 4. Vista general motor de pasos.



#### Especificaciones técnicas

**Tipo de bobina:** bipolar.

**Tamaño del marco:** NEMA 17 42mm.

**Longitud del motor:** 33mm.

**Tipo de estator:** 2 fases híbrido (bajo ruido, baja vibración).

**Tensión de la fuente:** (12-36) VDC.

**Pasos por revolución:** 200.

**Grados por paso:**  $1,8^\circ$ .

**Longitud del eje:** 24mm.

**Diámetro del eje:** 5mm.

**Resistencia:**  $2,1\Omega$  por fase.

**Torque:** 305mNm @ 24V, 0,65A.

Los motores fueron entregados funcionales, por lo que pueden continuar en funcionamiento sin necesidad de realizarles algún trabajo.

### 1.1.3 Acoples

Los acoples montados sobre los ejes de la máquina son acoples de araña, su función es acoplar el eje del motor y los tornillos de potencia de cada eje de la máquina. En la figura 5 se presenta una vista general del acople.

Figura 5. Vista general acople de araña.



### Descripción

- Acople flexible tipo araña.
- Dimensiones 5mm x 8mm, exterior Ø25mm largo 30mm.
- Estructura mandíbula/araña.
- Material aluminio/polímero.
- Estructura simple y fácil de instalar.
- Conexión elástica capaz de amortiguar y absorber vibraciones. Compensa la desalineación axial, radial y angular.

Los acoples fueron entregados en buen estado y no fue necesario cambiarlos.

### 1.1.4 Husillos de bolas

Los tornillos de potencia que posee la máquina son tornillos de bolas recirculantes que son los encargados de transmitir la potencia del motor y convertirla en los desplazamientos que se requieren que haga la máquina. Como el movimiento se realiza por rotación, no por deslizamiento, el rozamiento es menor, la fricción del conjunto es baja. Y como el esfuerzo se reparte entre varias bolas, es capaz de aplicar o resistir altas cargas de empuje. Se pueden fabricar con unas tolerancias estrechas



y por tanto son adecuados para su empleo donde se necesita una alta precisión. En la figura 6 se presenta una vista general de los husillos de bolas.

Figura 6. Husillo de bolas.

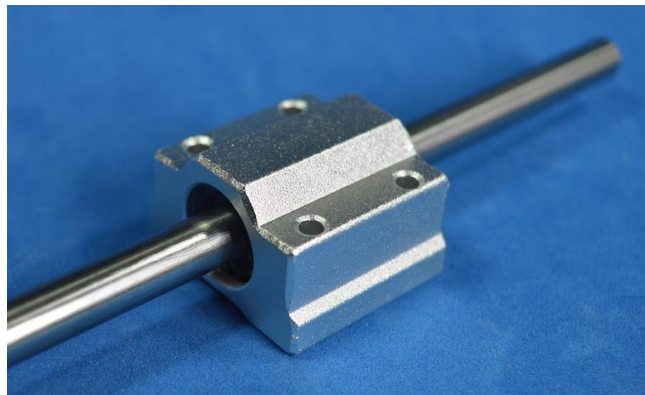


Los husillos fueron entregados con mucho polvo y sin lubricación, pero después de su rehabilitación pudieron continuar en funcionamiento.

#### **1.1.5 Guías de movimiento lineal**

La estructura de los ejes de la máquina está apoyada sobre guías lineales, sobre las cuales hay rodamientos lineales para reducir la fricción durante su desplazamiento. En la figura 7 se muestra el conjunto guía lineal y rodamiento.

Figura 7. Conjunto guía y rodamiento lineal.



Las guías fueron entregadas en mal estado, estaban completamente oxidadas, pero pudieron ser utilizadas al igual que los rodamientos lineales, los cuales solo requirieron lubricación.

#### 1.1.6 Mototool Dremel 300

El husillo motorizado sobre el que va montada la herramienta es el mototool *Dremel*, el cual proporciona la velocidad necesaria para el proceso de fresado, en la figura 8 se muestra una vista general. A continuación, se presentan sus especificaciones:

**Potencia nominal:** 125W.

**Tensión nominal:** 125V.

**Peso:** 0,55kg.

**Velocidad en vacío:** (10.000 – 33.000) rpm.

**Potencia sonora:** 80dB<sub>A</sub>.

**Vibración:** 2,5m/s<sup>2</sup>.

Figura 8. Mototool Dremel 300.



El mototool fue entregado en buen estado, totalmente funcional.

#### 1.1.7 Fuente de poder

La máquina fresadora posee una de una fuente capaz de abastecer al controlador G540, esta debe ser potente para mover los 3 motores de la máquina. En la figura 9 se tiene una vista general de la fuente.

##### Especificaciones:

Entrada:

**Rango de tensión alterna:** (90 – 132) V.

**Rango de frecuencia:** (47 – 63) Hz.

**Eficiencia:** 87%.

**Corriente:** 40 A a 115 V.

Salida:

**Tensión DC:** 24V.

**Corriente nominal:** 14,6 A.

**Potencia nominal:** 350,4 W.

Figura 9. Fuente de poder.



La fuente de poder fue entregada en buen estado por lo que se continuó utilizando.

#### 1.1.8 Botón parada de emergencia

La máquina fresadora cuenta con un botón para paros de emergencia rojo cabeza de hongo como se muestra en la figura 10. Este botón es el encargado de detener toda actividad de la máquina con seguridad, el desplazamiento de los ejes y movimiento del husillo. La señal será recibida por el controlador G540 y este enviará una señal hacia el pc.

Figura 10. Botón de parada de emergencia.



El botón fue entregado en buen estado y se continuó utilizando.

## 1.2 Software inicial

La máquina se controla mediante un software de CAM gratuito llamado *Mach3* el cual se describirá a continuación.

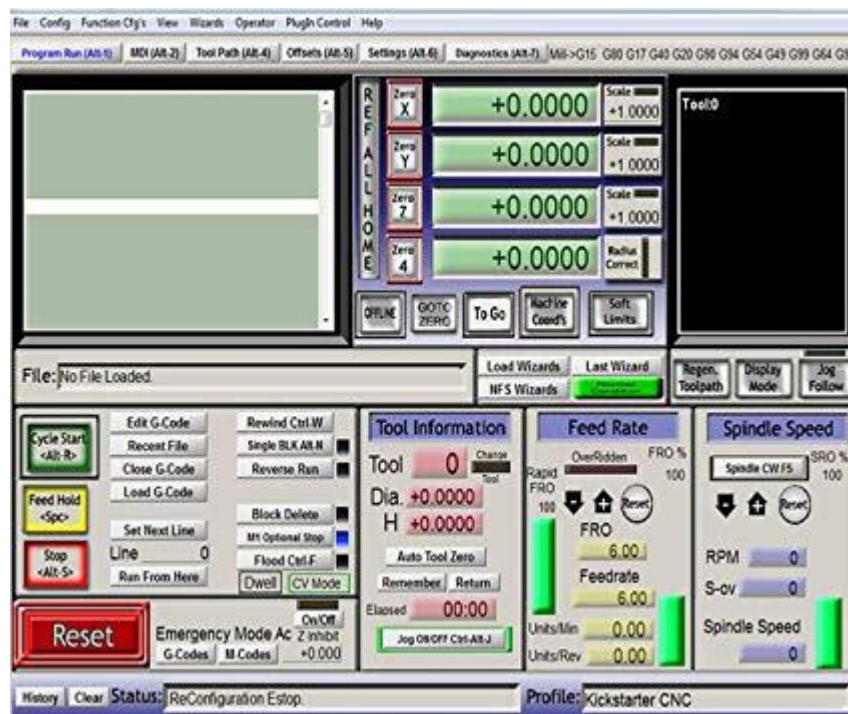
### 1.2.1 Software de control *Mach3*

Es un sistema de control computarizado distribuido por *Artsoft* a través de internet, permite la comunicación con los motores paso a paso, mediante un paquete de software que corre sobre una computadora y la convierte en un controlador de máquina muy poderoso, se comunica principalmente por 1 u opcionalmente 2 puertos paralelos (de impresora) y, si se desea, por un puerto serial (COM).

Este sistema es accesible y muy fácil de aprender, permitiéndole a muchas empresas automatizar sus máquinas convencionales a CNC o crear sus propias máquinas de control numérico a un bajo costo.

El programa computacional Mach3 para el manejo de la máquina cumple con los requerimientos, permitiendo el control de las tres dimensiones en el proceso de fresado con una precisión aceptable, teniendo en cuenta el hardware de la máquina. El software de control Mach3 requiere para su correcto funcionamiento el sistema operativo *Windows XP*, es necesario configurarlo para la máquina, esta configuración se inició desde cero. En la figura 11 se presenta la interfaz de control de *Mach3*.

Figura 11. Interfaz de control *Mach3*.



## 2. DESCRIPCIÓN DE ALISTAMIENTO DE LA MÁQUINA

En este capítulo se describirán los procesos realizados para poner la máquina nuevamente en su correcto funcionamiento.

### 2.1 Rehabilitación mecánica y eléctrica de la fresadora CNC

Debido a que la máquina estuvo detenida por un lapso considerable, las partes móviles se encontraban oxidadas y pegadas y los componentes eléctricos necesitan ser revisados y rehabilitados para su correcto funcionamiento.

#### 2.1.1 Cambio de la tarjeta de control G540

La tarjeta de control G540 después de hacerle una prueba de funcionamiento, se encontró que tenía dañado un fusible por lo que se procedió a reemplazarlo, pero después de probarla nuevamente, esta no hacía mover los motores. El paso siguiente fue analizar si la tarjeta enviaba señales hacia los motores usando un osciloscopio y lo que se observó fue que la señal no cambiaba cuando se enviaba una orden desde el software Mach3, con lo que se llegó a la conclusión que la tarjeta ya no servía y se debía adquirir un nuevo controlador.

Se optó por adquirir una tarjeta de interfaz CNC [6], mostrada en la figura 12, que permite controlar hasta 5 ejes, que es totalmente compatible con el software *Mach3* y utiliza el mismo puerto paralelo para conectarse con el PC. Los elementos que la tarjeta de interfaz CNC puede controlar son los siguientes:

- Límites de carrera y botón parada de emergencia.
- Encendido y apagado del husillo mediante un relé.
- 5 motores paso a paso.
- Velocidad del husillo con señal PWM.

Debido a que la tarjeta de interfaz CNC no tiene integrados los *drivers* para los motores paso a paso se utilizaron nuevamente los *drivers* G250X integrados en la G540, para mayor información de los drivers consultar la bibliografía [7]. Se hizo un montaje para probar el funcionamiento de los motores y de la tarjeta de interfaz CNC como se muestra en la figura 13.

Figura 12. Tarjeta de interfaz CNC.

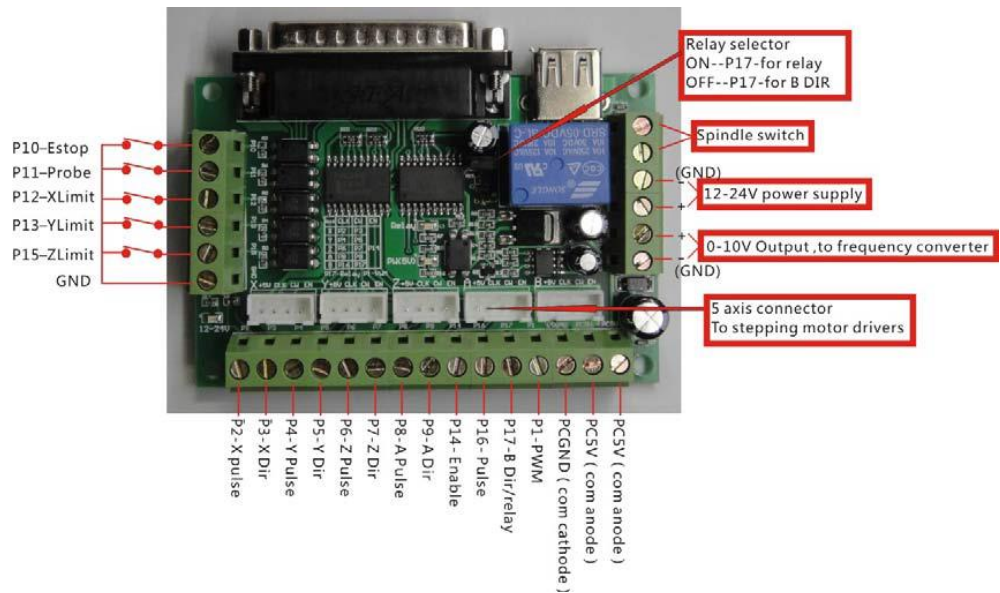
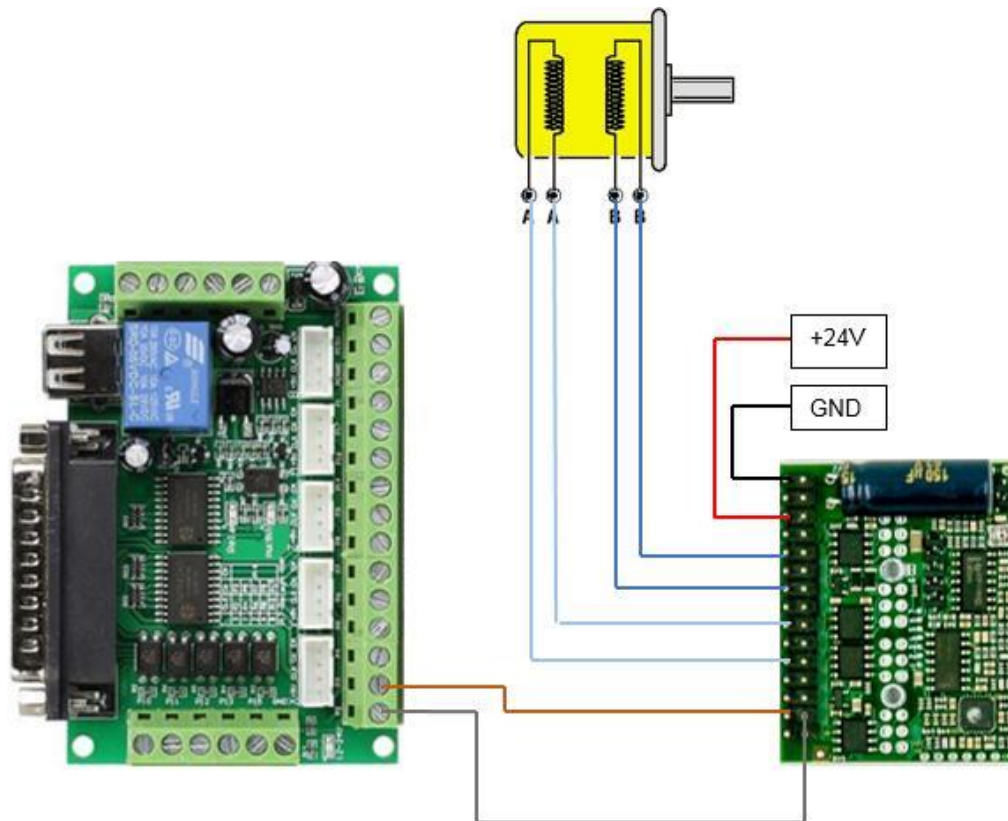


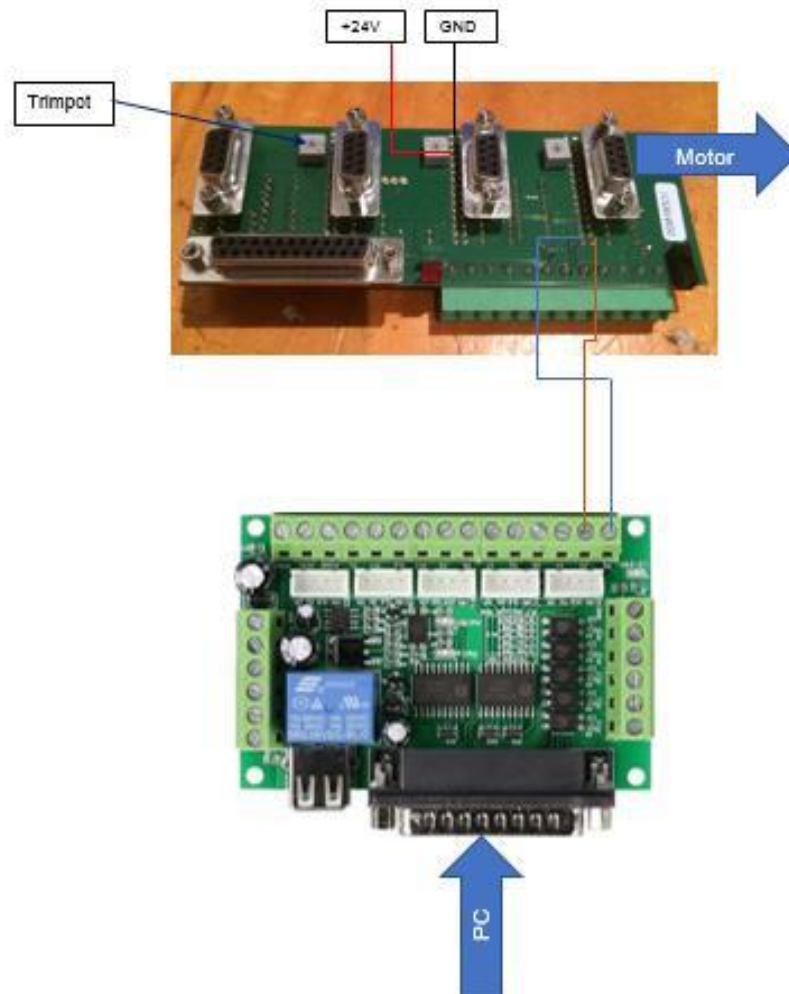
Figura 13. Esquema del montaje de prueba para los motores y la tarjeta de interfaz CNC.





El montaje anterior funcionó para accionar el motor, pero tuvo un inconveniente, cuanto estaba energizado y sin rotar, generaba un pitido muy agudo y fuerte el cual era muy molesto. En principio se pensó que se debía al ajuste del *trimpot* del *driver* que se trata de una resistencia variable que se encontraba en la controladora G540, así que se procedió a conectarle una resistencia entre los pines del driver donde debía ir el *trimpot*, pero después de ponerlo en funcionamiento el pitido no terminaba, por lo que se tuvo que conectar de nuevo el *driver* a la G540 pero que las señales llegarán a través de la nueva tarjeta de interfaz CNC. Se probó el montaje y ya no se escuchaba el pitido y el motor funcionaba correctamente. En la figura 14 se muestra el montaje utilizado.

Figura 14. Vista del segundo montaje realizado.



### 2.1.2 Acondicionamiento de la maleta de control

En la maleta de control se contaba con mucho cableado que no era necesario, se necesitaba cambiar el cable de alimentación, conectar la tarjeta de interfaz CNC y el tomacorriente para el mototool. En la figura 15 se muestra el estado inicial de la maleta de control.

Figura 15. Vista interior de la maleta de control inicialmente.



Se procedió a instalar un cable de poder adecuado, eliminar el cableado innecesario, se instaló la tarjeta de interfaz CNC con todas sus conexiones al igual que el conector para el mototool tal como se muestra en la figura 16. Los dispositivos de salida y entrada que llegan a la maleta de control se muestran en la figura 17, estos son:

#### Entradas:

- Botón de parada de emergencia.
- Interruptor encendido/apagado.
- Cable de alimentación.



- Puerto paralelo del PC.
- Cable de alimentación USB del PC.

**Salidas:**

- Puerto DB9 para cada uno de los tres motores de la máquina.
- Conector para el mototool.
- Alimentación para la válvula neumática.

Figura 16. Vista interior de la maleta de control.

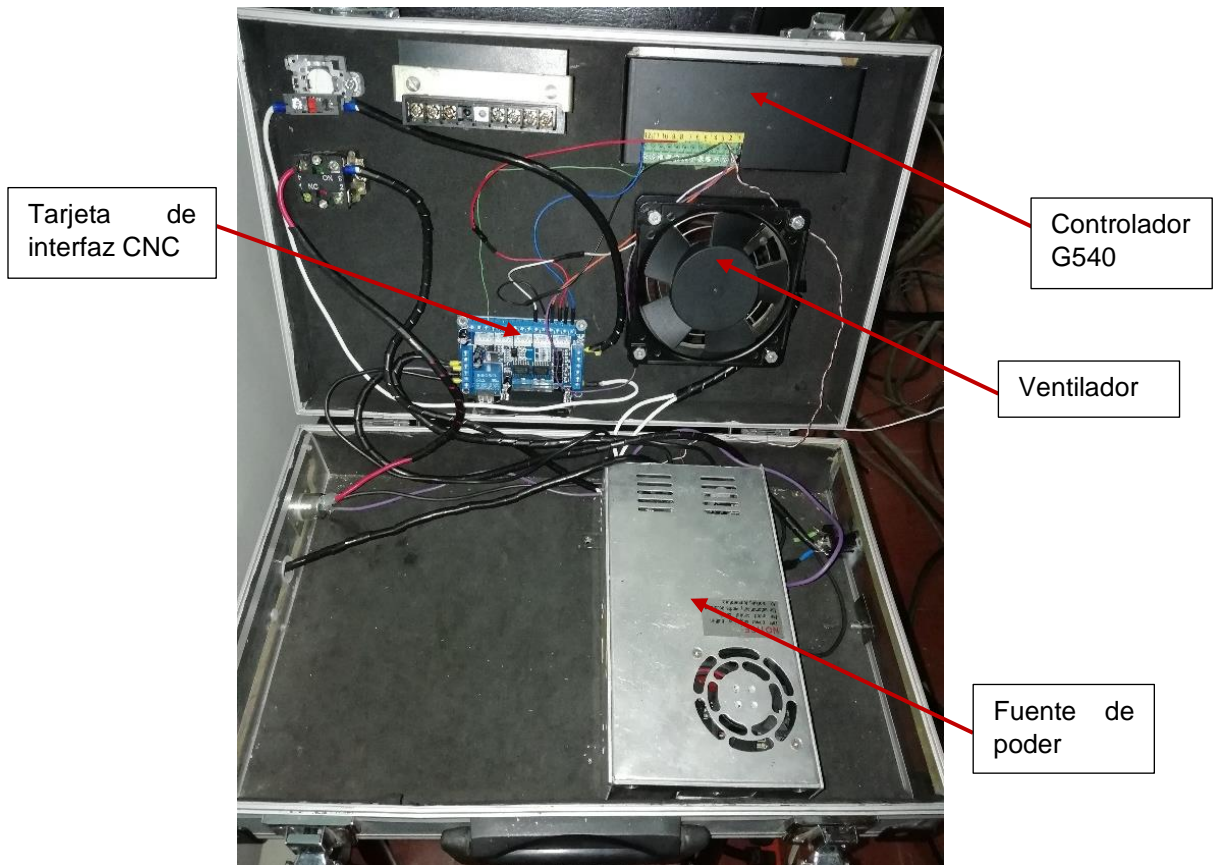
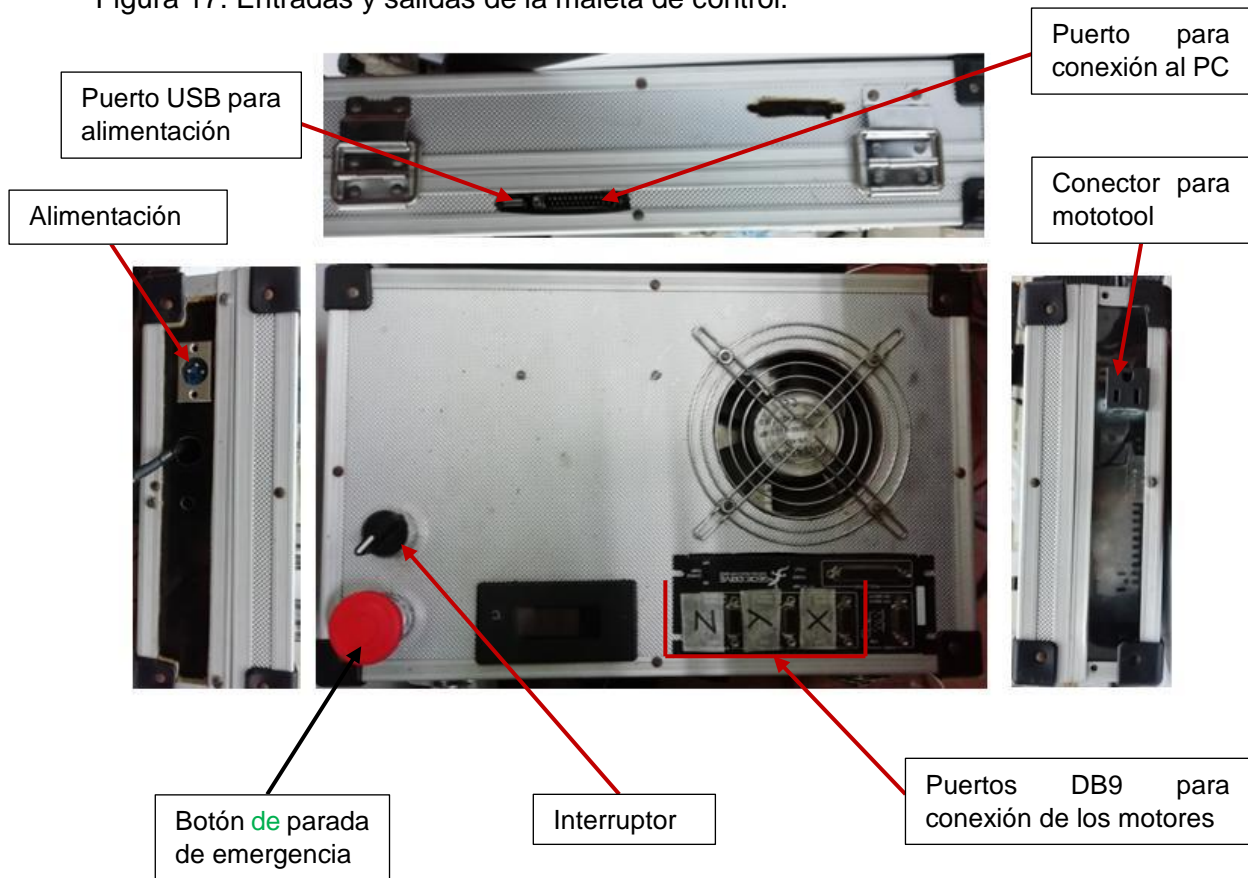


Figura 17. Entradas y salidas de la maleta de control.



### 2.1.3 Acondicionamiento de guías lineales y husillos roscados

Las guías lineales se tuvieron que lijar debido a que se encontraban oxidadas por haber estado sin lubricación por un tiempo considerable. Se usó una lija fina para que no se redujera considerablemente su diámetro y posteriormente se les aplicó grasa para evitar que se oxidaran nuevamente y para evitar su desgaste durante el funcionamiento de la máquina. Los husillos como se muestran en la figura 18 no se encontraban oxidados, pero sí fue necesario lubricarlos, ya que al igual que las guías lineales se encontraban secos. En la figura 19 se evidencia el estado de las guías lineales.

Figura 18. Estado de los husillos roscados.



Figura 19. Antes y después de las guías lineales.



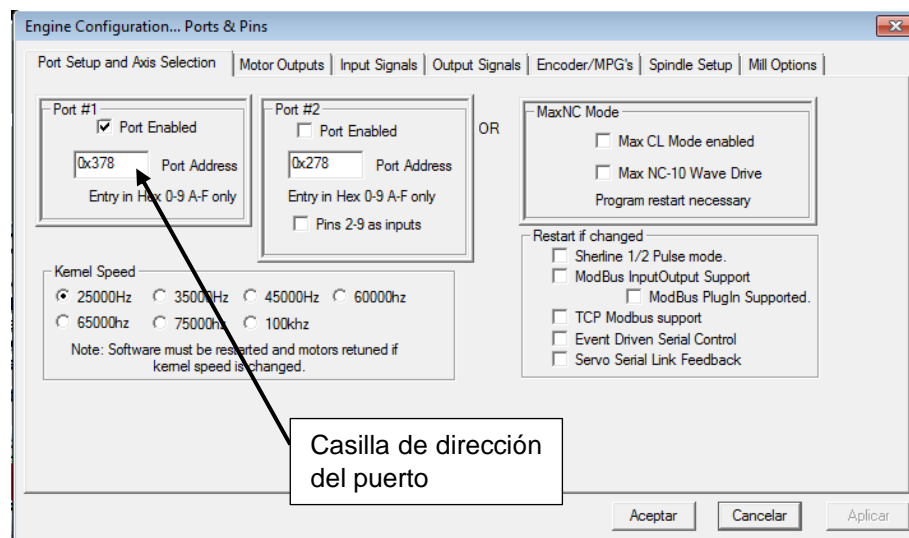
## 2.2 Configuración del software Mach3 para la fresadora

El software *Mach3* requiere de una serie de configuraciones que son particulares para cada máquina que se desee controlar para que el PC pueda comunicarse coordinadamente con la máquina, a continuación se describirán las configuraciones realizadas para controlar la fresadora CNC.

### 2.2.1 Definición de dirección del puerto a utilizar

Debido a que la fresadora CNC requiere del uso de un solo puerto, solo se deberá poner la dirección de este que será la que viene configurada por defecto en el programa (0x378) si el PC solo dispone de un puerto paralelo tal como se muestra en la figura 20. Si en el PC se tiene más de una tarjeta PCI en la *motherboard*, se debe conocer la dirección de cada una y digitar en la casilla la dirección del puerto utilizado por la máquina, se puede encontrar información más detallada en la bibliografía [8].

Figura 20. Ventana de configuración del puerto utilizado.



### 2.2.2 Definición de señales de entrada y salida utilizadas por la máquina

En esta configuración se define la función de cada pin del puerto paralelo, debido a que la tarjeta de interfaz CNC utilizada por la máquina está diseñada para utilizarse con *Mach3* contiene la configuración que debe aplicarse en los puertos y pines para su correcto funcionamiento.

#### Señales de salida usadas

En la pestaña motor outputs se define dónde van a ser conectados los *drivers* para los motores de los ejes X, Y y Z, además del pin que controla el encendido y apagado del mototool como se muestra en la figura 21. Se debe tener en cuenta que al cambiar el teclado del PC se deben invertir los pines de salida de alguno de los ejes en el caso en que las teclas para el desplazamiento manual sea el contrario al que realiza la máquina.

Figura 21. Configuración de los pines para los motores y husillo.

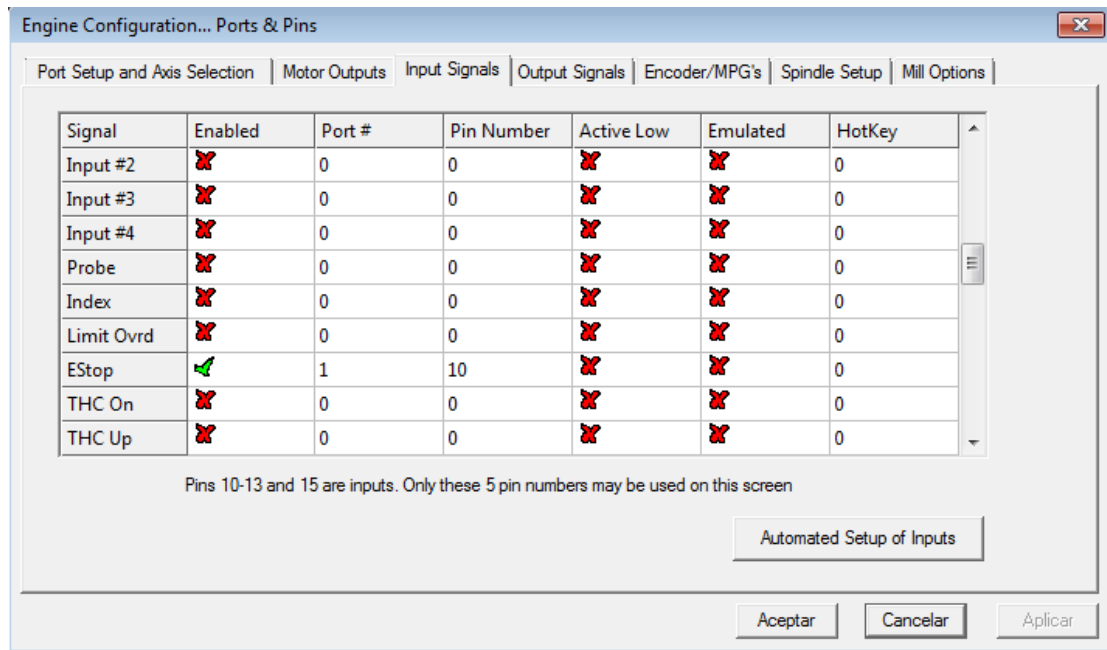
Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActi...	Step Low A...	Step Port	Dir Port
X Axis	✓	6	7	✓	✓	1	1
Y Axis	✓	4	5	✓	✓	1	1
Z Axis	✓	2	3	✓	✓	1	1
A Axis	✗	8	9	✗	✗	1	1
B Axis	✗	0	0	✗	✗	0	0
C Axis	✗	0	0	✗	✗	0	0
Spindle	✓	1	0	✓	✓	1	1

Aceptar Cancelar Aplicar

#### Señales de entrada usadas

En la ventana input *signals* como se muestra en la figura 22, se establecen los pines destinados a la entrada de señales, debido a que los límites de final de carrera en la fresadora fueron establecidos mediante software, la única señal de entrada utilizada es la del botón parada de emergencia. Las entradas disponibles mediante el uso del puerto paralelo son 5, así que restan 4 pines disponibles para señales de entrada que se requieran en una aplicación futura de la máquina.

Figura 22. Configuración señales de entrada.



### 2.2.3 Configuración de pasos del motor por unidad de desplazamiento

Para que el desplazamiento de los ejes coordenados de la máquina sea el preciso para que después del mecanizado las dimensiones de las piezas sean las requeridas, se configuró la cantidad de pasos que debe realizar el motor para avanzar una unidad de longitud real. El software *Mach3* es capaz de calcular automáticamente esta cantidad de pasos, el proceso se inició con la ventana que se muestra en la figura 23.

El proceso inicia con el botón *steps per unit*, al hacer clic, se debe seleccionar el eje que se va a configurar, luego se digita un valor de desplazamiento del eje, el motor se activa y realiza el desplazamiento en la longitud que se digitó, cuando el motor se detiene se realiza con un instrumento la medición del desplazamiento real que realizó la máquina y esta medida se ingresa en el software. Al terminar el procedimiento el software *Mach3* calcula los pasos por unidad de desplazamiento, luego de configurado cada eje, este se debe desplazar la longitud indicada.

El instrumento usado para la calibración de cada eje fue un comparador de carátula, ya que se necesitaba una buena precisión y la longitud se ingresaba en mm. En las figuras 24, 25 y 26 se muestra el montaje para la medición del desplazamiento de cada eje.



Figura 23. Ventana para configuración de pasos por unidad.

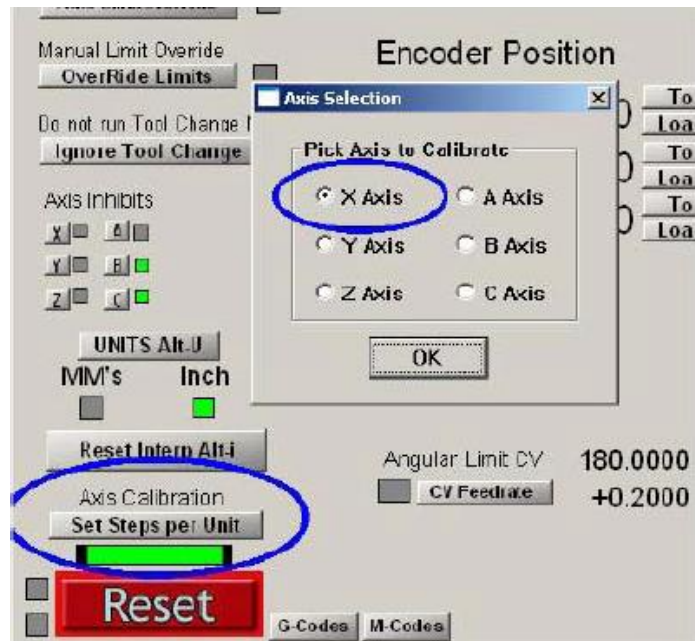


Figura 24. Montaje para medición en el eje X.

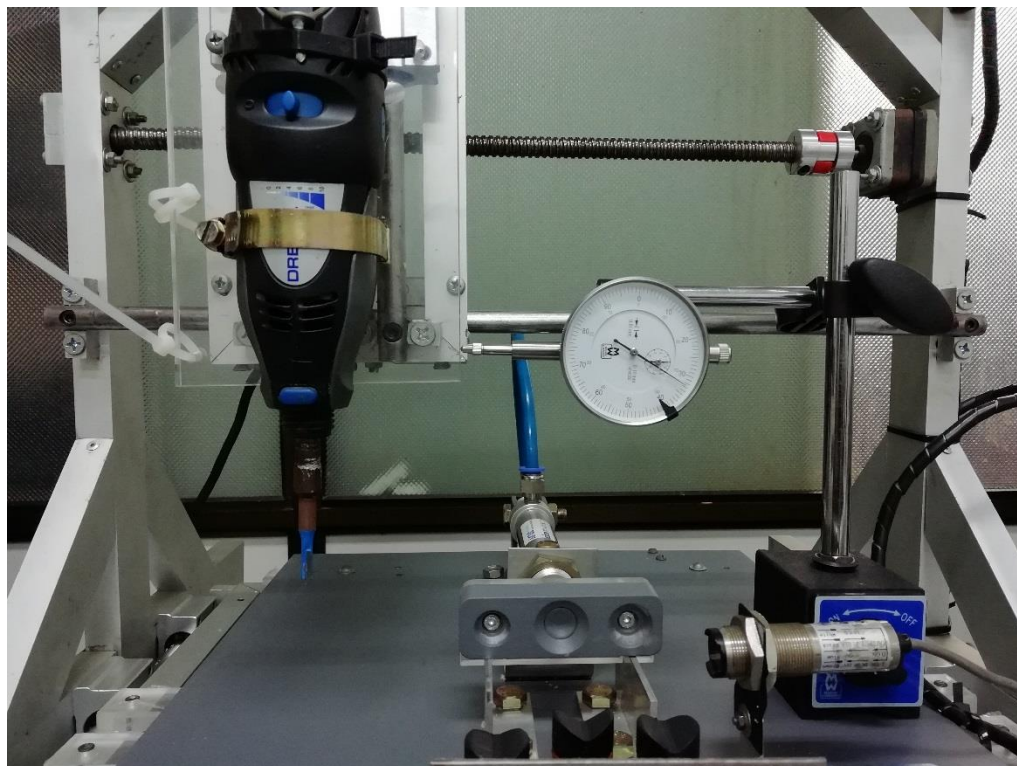


Figura 25. Montaje para medición eje Y.

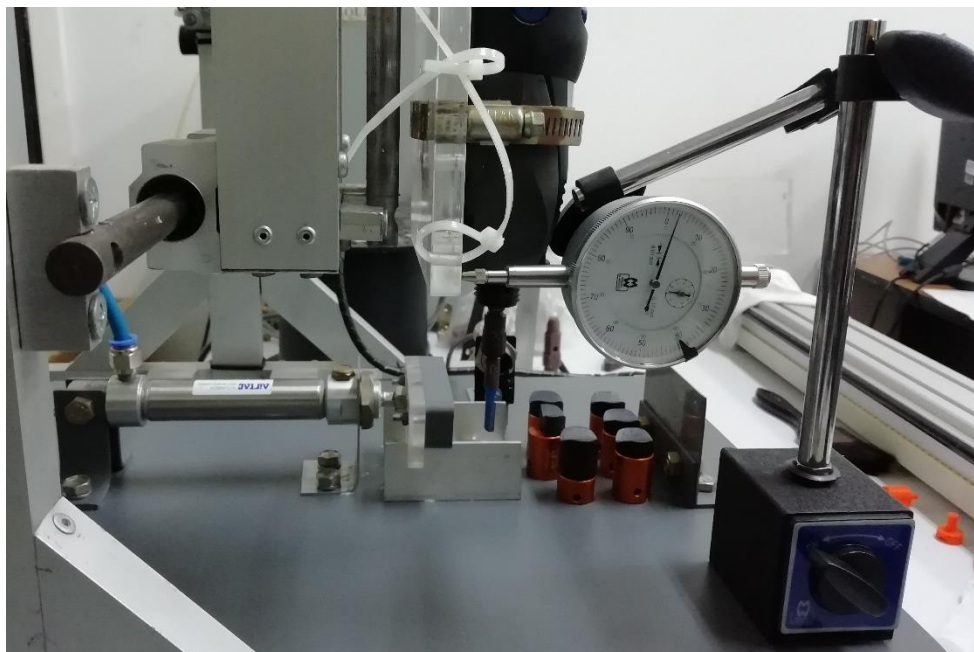
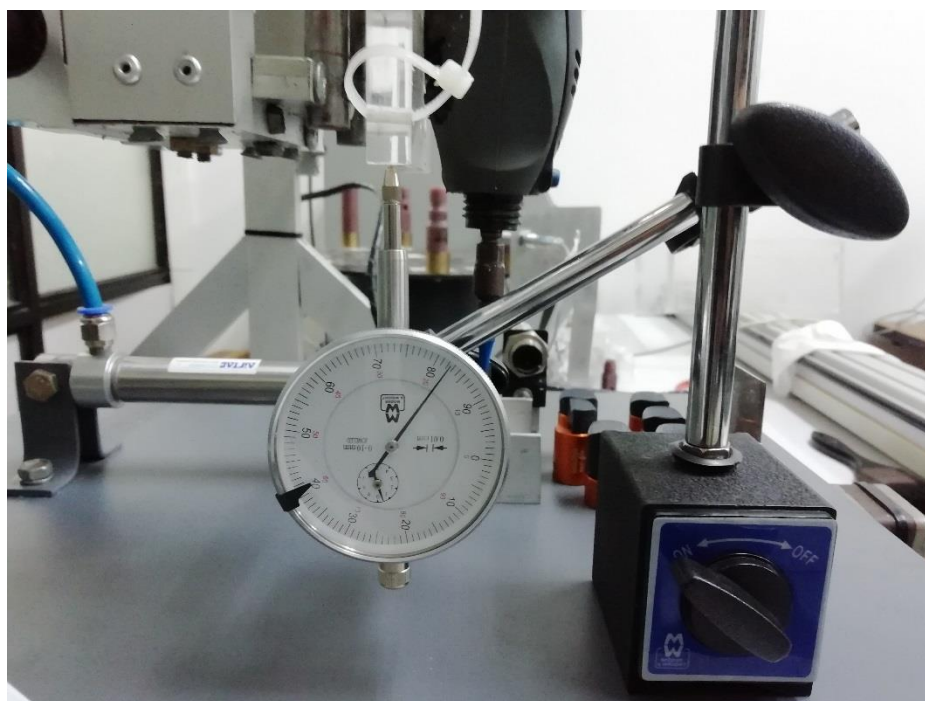


Figura 26. Montaje para medición eje Z.



### 2.2.4 Configuración de velocidad de los motores

A los motores de cada uno de los ejes de la máquina se les debe configurar la velocidad con la que estos deben arrancar y finalizar un movimiento. Esta configuración se realizó modificando el perfil de velocidad y variando la aceleración en la ventana motor *tuning* como se muestra en la figura 27, 28 y 29. El proceso de configuración se hizo mediante pruebas, se cambiaba el perfil de velocidad y se hacía desplazar el eje que se estaba configurando, cuando el motor se detenía durante el desplazamiento entonces se reducía la velocidad y cuando arrancaba muy rápido se disminuía la aceleración, esto se hizo con los tres motores hasta que cada motor funcionó correctamente pero sin que su desplazamiento fuera muy lento.

Figura 27. Perfil de velocidad eje X.

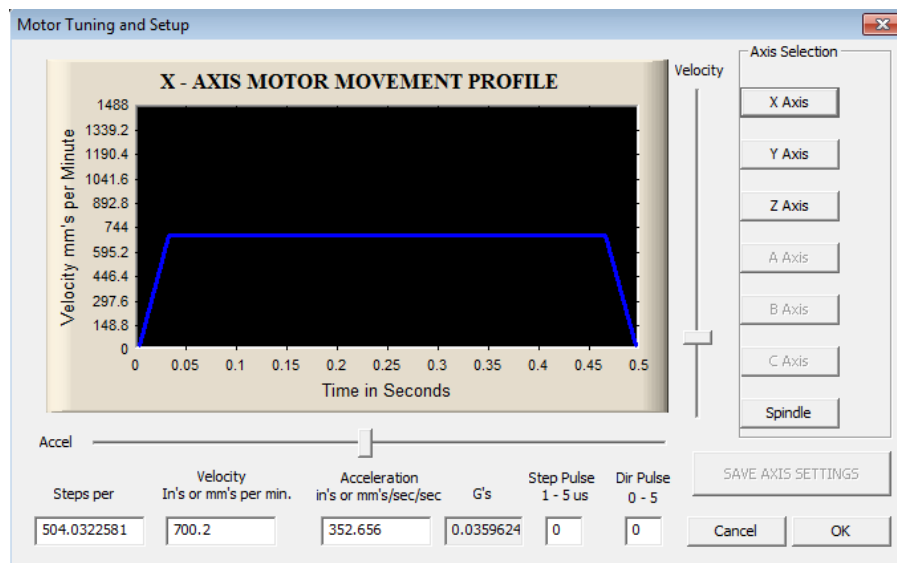


Figura 28. Perfil de velocidad eje Y.

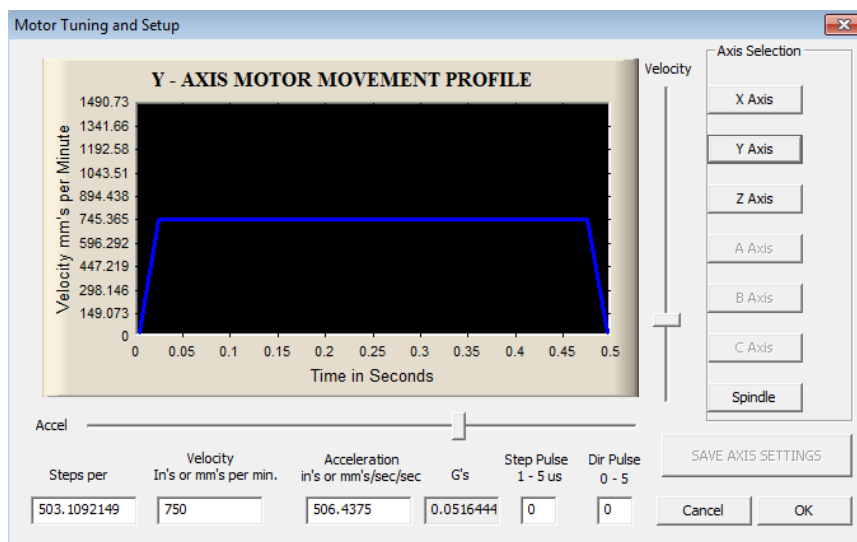
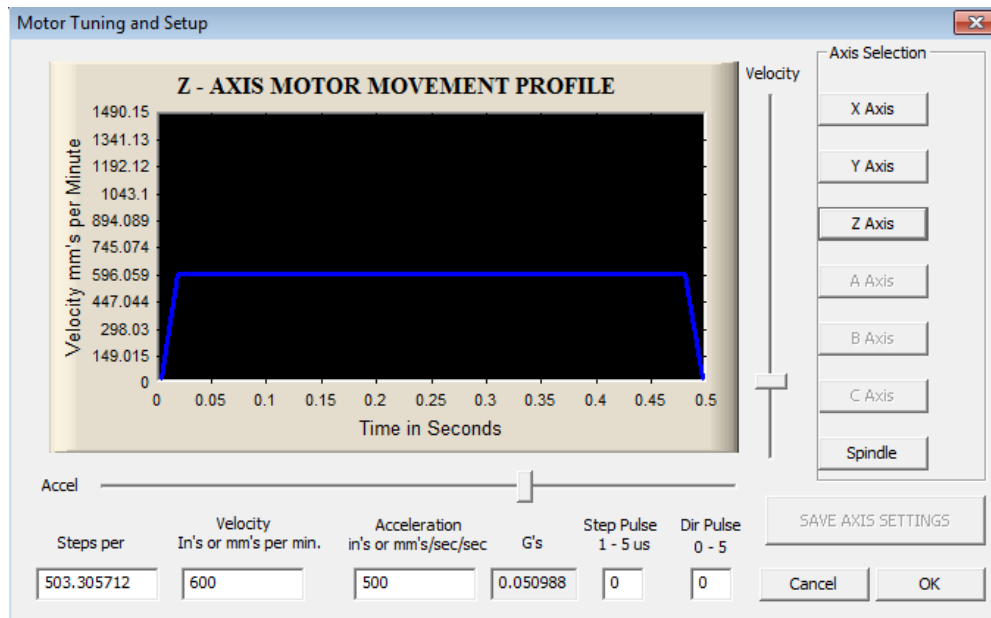




Figura 29. Perfil de velocidad eje Z.



### 2.2.5 Configuración del *Home* y límites suaves

El *Home* es la referencia de la máquina, el cero en coordenadas absolutas de la fresadora, de su correcta configuración dependen los ceros de pieza para la ejecución de los programas de mecanizado y los límites de cada eje.

El *Home* de la fresadora es una posición en la que no interfiera con el movimiento del brazo del robot ni con ninguna de las piezas de la base de sujeción, este se configura haciendo clic en el botón *Ref All Home* como se muestra en la figura 30, de inmediato se pondrán en cero los valores de las coordenadas máquina de todos los ejes.

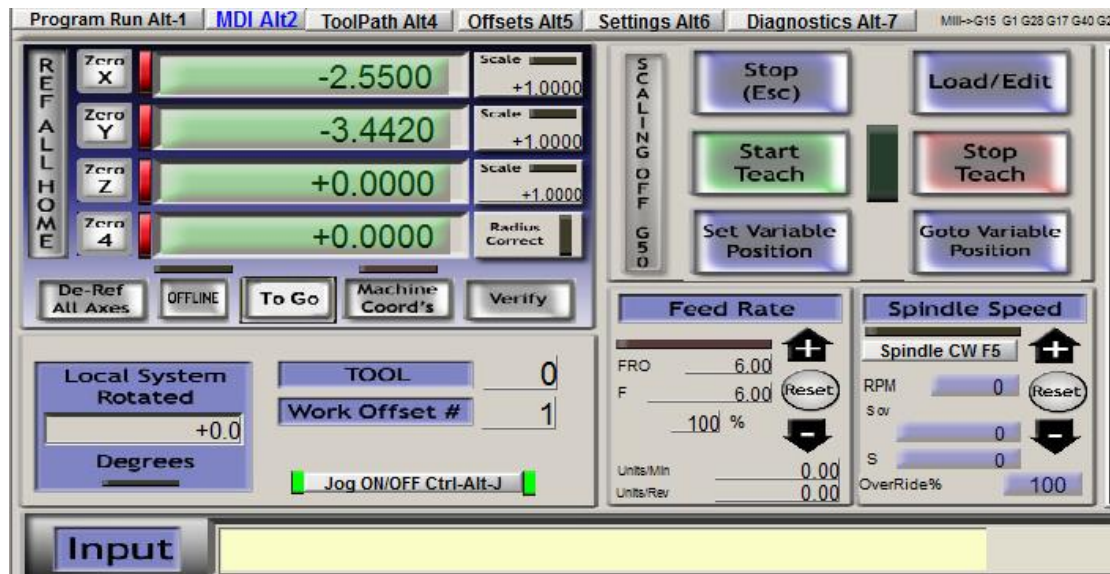
Figura 30. Ventana para configuración del *Home*.



Botón para visualizar coordenadas máquina

Es muy importante tener en cuenta que al cerrar el programa *Mach3*, la máquina siempre debe quedar en la posición del *Home*, ya que si no se hace esto al iniciar nuevamente el programa, tomará la posición en la que se encuentre cada eje como el *Home* y debido a esto se la fresadora quedará perdida en cuanto a límites y los ceros de pieza porque la referencia para estos es el *Home*. Para llevar la máquina al *Home* basta ingresar en la pestaña MDI y digitar el código G28 en la casilla *Input* como se muestra en la figura 31 y presionar *enter*, de inmediato cada eje se moverá hacia su cero y la fresadora quedará en el *Home*.

Figura 31. Ventana MDI para ingresar funciones por código.



Finalizada la configuración del *Home*, se procedió a establecer los límites suaves que son los límites en el recorrido de cada eje para proteger la máquina de accidentes en los que se le ordene ir a posiciones a las que físicamente no puede llegar evitando daños en los motores y husillos de la máquina. Como ya se mencionó anteriormente estos límites toman como referencia el *Home*, si este es cambiado, las coordenadas de los límites suaves también deben cambiarse o de lo contrario estos no servirán de nada.

El proceso para establecer los límites suaves se realizó llevando manualmente cada eje hasta sus dos límites, se tomó la coordenada en coordenadas máquina y se ingresan en el cuadro de la pestaña *config>homming/limits* como se muestra en la figura 32, y se guardan los cambios.

Una vez configurados, los límites suaves deben ser activados haciendo clic en el botón *Soft Limits* mostrado en la figura 33, cuando este botón esté iluminado indica que los límites suaves se encuentran activados. Cuando se carga un programa cuyas coordenadas van más allá de los límites de alguno de los ejes coordinados y los límites suaves están activados, aparecerá error. También cuando se está

moviendo manualmente un eje y se lo quiere llevar más allá de sus límites, el motor de ese eje se detendrá y solo se moverá nuevamente para devolverse. Cuando un movimiento es abortado por los límites suaves, se mostrará en la casilla status.

Figura 32. Configuración de límites suaves.

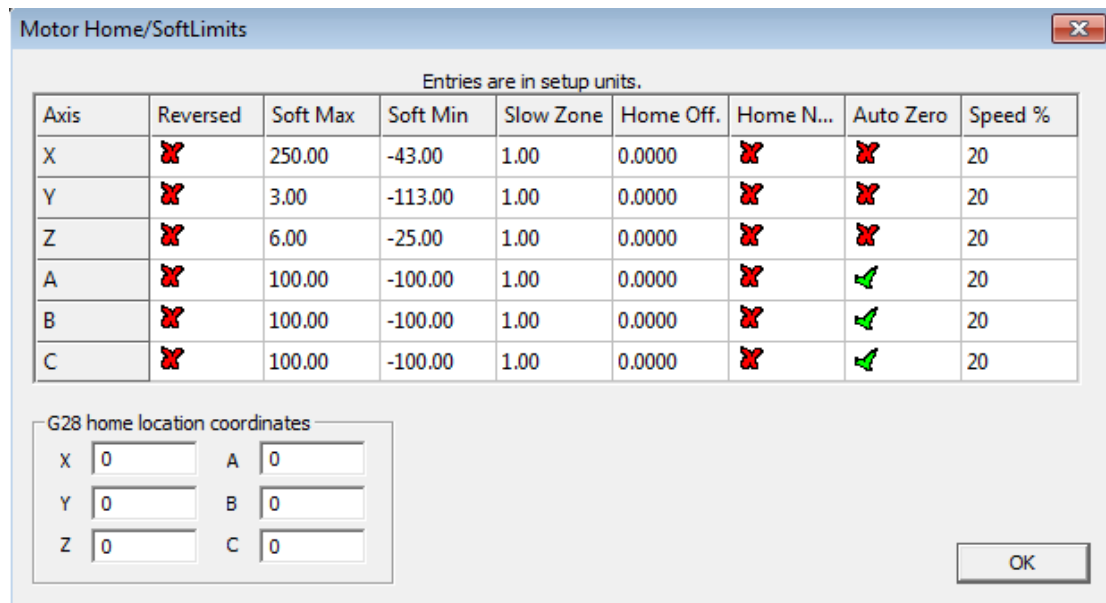
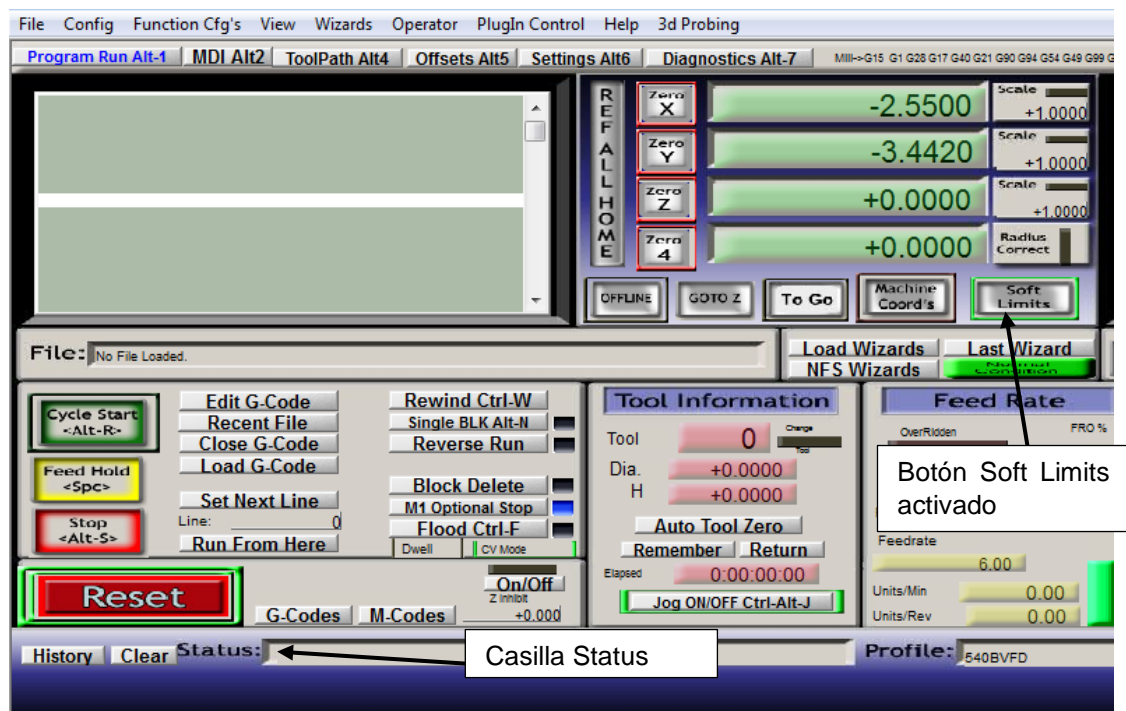


Figura 33. Vista del botón *Soft Limits* y casilla *Status*



Para información más detallada acerca de la configuración del software *Mach3* consulte la bibliografía [8].

### 2.3 Selección de herramienta de corte

La herramienta requerida para realizar las operaciones que se deben hacer a las piezas que se van a mecanizar es una fresa de corte tangencial. Existen diferentes tipos de fresas en el mercado para mototool, cada una para una operación específica y un trabajo determinado, al igual que también para trabajar con diferentes materiales.

El material que va a ser mecanizado por la fresadora es una parafina industrial, que es un material más blando que la madera o metal, que son los materiales más comunes para los cuales están hechas las fresas de mototool. La primera fresa que se montó en el mototool para mecanizar una pieza de parafina fue una fresa de corte tangencial de múltiples filos, como la que se muestra en la figura 34.

Figura 34. Fresa tangencial de múltiples filos.



El corte con esta fresa no fue el esperado, debido a que el acabado fue muy malo, con muchas asperezas y durante el corte se observó que la herramienta molía el material y al realizar un agujero fundía la parafina y quedaba embotada la fresa, de manera que el agujero no quedaba con la geometría esperada. Por las razones anteriores, se decidió cambiar la herramienta por una fresa de un solo filo mostrada en la figura 35, que es usada para realizar ranuras rectas en madera, debido a que no se conseguía esta fresa con espigo de 1/8" (que es el diámetro admitido por el mototool), se adquirió una fresa de 1/4" y se cilindró hasta 1/8".

Los resultados que se obtuvieron con esta nueva fresa fueron los esperados, el acabado de las superficies era mejor que con la primera herramienta y el corte era mejor, ya que la viruta no era molida como ocurrió antes, además durante el mecanizado del agujero, no se fundía el material y la herramienta no terminaba embotada como había ocurrido anteriormente.

Figura 35. Fresa para madera de un filo.



Los resultados obtenidos con cada herramienta se pueden apreciar en las figuras 36 y 37.

Figura 36. Mecanizado con herramienta multifilo.

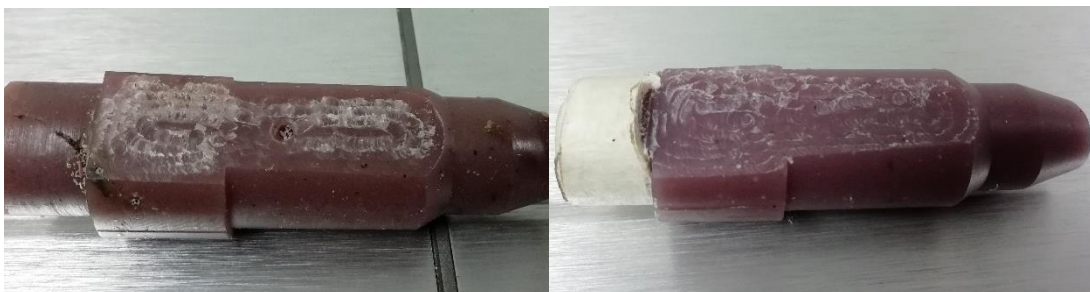


Figura 37. Mecanizado con herramienta monofilo.



### 3. REQUERIMIENTOS PARA LA INTEGRACIÓN

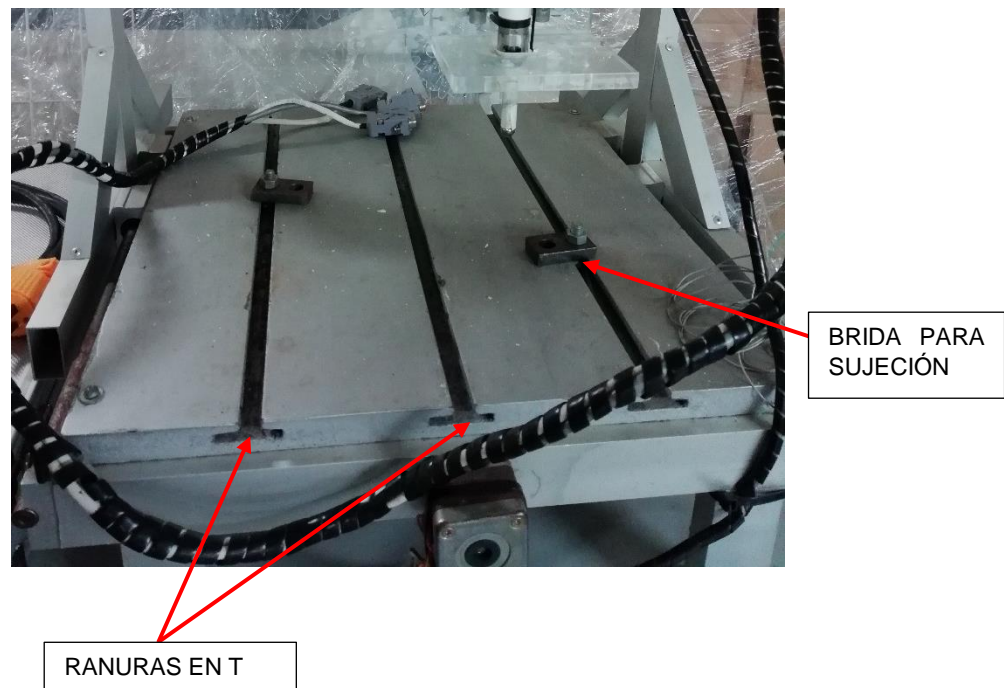
En este capítulo se describirán los requerimientos que debe cumplir la fresadora didáctica CNC para su correcta integración a la celda de manufactura flexible.

#### 3.1 Base de sujeción automática

La sujeción de las piezas durante el proceso de mecanizado es vital para que la pieza final sea la esperada. Los elementos de sujeción deben soportar las fuerzas que se generan durante el arranque de viruta y no debe haber soltura para que los movimientos relativos entre pieza y herramienta de corte sean precisos, además los elementos de sujeción no deben obstruir la trayectoria de la herramienta durante el proceso de mecanizado, de lo contrario se origina un peligro de accidente y eventualmente se ocasionan daños a la herramienta.

La máquina tenía inicialmente una mesa de MDF con ranuras en T, como la mostrada en la figura 38, en las cuales se inserta la cabeza del tornillo y se sujeta a las piezas mediante mordazas o bridas.

Figura 38. Mesa de trabajo de la fresadora CNC.



Debido a que las piezas que serán mecanizadas por la fresadora CNC inicialmente son de sección circular porque ya han pasado por el proceso en torno, las bridas o



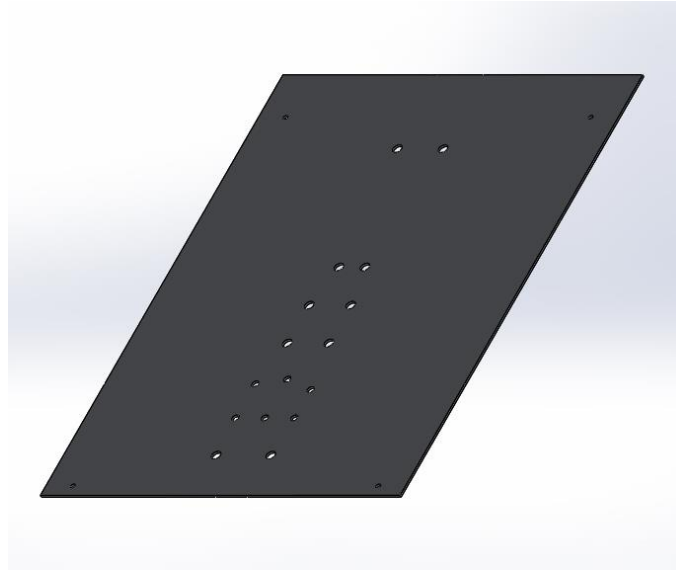
mordazas no son adecuadas para la correcta sujeción de las piezas. Este sistema de sujeción tampoco era posible de utilizar ya que debe intervenir una persona para apretar los tornillos de las bridas y en la celda de manufactura esto se debe realizar de manera automática sin intervención de una persona, por lo que se tuvo que usar otro sistema para la sujeción de las piezas.

Lo primero que se tuvo en cuenta para diseñar la base de sujeción es que el robot debe ser capaz de manipular las piezas y posicionarlas en la fresadora, por lo que no debía haber piezas que obstaculizarán su trayectoria. Lo siguiente a tener en cuenta fue la geometría de las piezas que salen del proceso de torneado, la base debía sujetar piezas cilíndricas que no tienen el mismo diámetro en toda su longitud, de manera que su eje quede horizontal para el proceso de fresado. Se continuó con la elección del actuador que se usaría para que mantuviera las piezas en su lugar y se decidió usar un cilindro neumático. Una vez definidos estos aspectos, se procedió a tomar las dimensiones de la máquina para realizar el modelo en CAD de la base de sujeción y posteriormente realizar los planos necesarios para su construcción. A continuación, se describirán los elementos que conforman la base de sujeción construida.

### **3.1.1 Placa base**

Debido a que la mesa de madera que poseía anteriormente la máquina se retiró, se debía tener otro elemento al cual se unirían las demás piezas de la base, por lo que se usó una lámina metálica de 2mm de espesor, que soportara los esfuerzos que se generarían con la fuerza del cilindro neumático. Sobre esta lámina se realizaron una serie de perforaciones como se muestra en la figura 39, para sujetar con tornillos las demás piezas que conforman la base y para sujetar ésta a la estructura de la máquina, el plano de la placa base se puede ver en el anexo A.

Figura 39. Vista de las perforaciones de la placa base.



### 3.1.2 Pallets o apoyos

Para la sujeción de las piezas, mostradas en la figura 40, se debían tener apoyos sobre los cuales el robot pudiera colocar las piezas y que cuando estas se soltaran no rodaran sobre la mesa de la máquina hasta que fueran sujetadas por el actuador, para lograr esto se tuvo como base los apoyos utilizados para la sujeción de piezas cilíndricas en la MMC del laboratorio de prototipado rápido como se muestra en la figura 41, estos apoyos hacen parte de un kit de útiles para sujeción de piezas para las mediciones en MMC marca Mitutoyo.

Figura 40. Vista de las piezas que se deben sujetar en la base de sujeción.



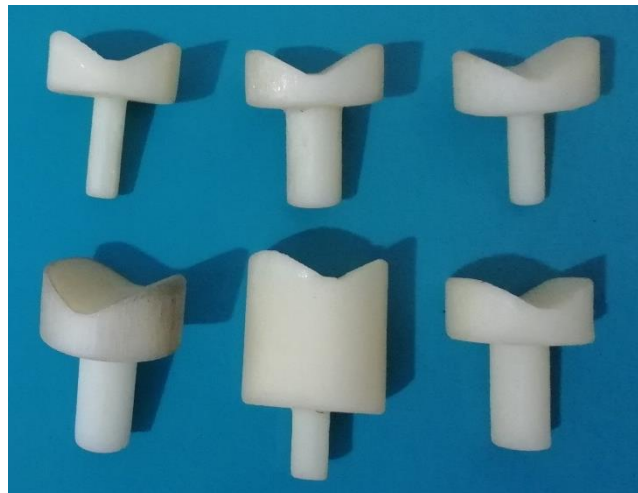


Figura 41. Vista de los útiles para sujeción de piezas cilíndricas.



La pieza naranjada que es la que va roscada en el mármol de la MMC, se utilizó en la base de sujeción y la parte superior que tiene forma de V se diseñó para cada una de las 3 piezas que entran a la fresadora, ya que cada una de estas posee unos diámetros diferentes y se necesita que las piezas queden niveladas para el mecanizado, por lo que cada una tiene una altura diferente. Estos pallets se fabricaron en la impresora 3D del laboratorio de prototipado rápido como se muestra en la figura 42. A los pallets se les debieron hacer variaciones en su altura para poder que la pieza quedara nivelada después de que el cilindro neumático las empujara para sujetarlas, por lo que se imprimieron nuevamente. Después de ser impresos los pallets finales, y dado que el material es fotosensible, se pintaron para que no se deformaran debido a la luz que reciben del entorno. En el anexo E se pueden apreciar los planos de los pallets.

Figura 42. Vista de los pallets impresos.



### 3.1.3 Placa de sujeción

Esta placa tiene como función acoplarse a la forma del extremo de las 3 piezas cilíndricas como se muestra en la figura 43, para que estas no se muevan cuando el cilindro neumático les haga presión contra el tope para sujetarlas, se diseñó con tres cavidades que tienen la misma forma del extremo de las piezas a mecanizar con una profundidad de 4mm. Esta pieza también fue fabricada por impresión 3D, y en la parte trasera tiene una placa de acrílico de 8mm, para evitar que se rompa por la flexión a la que está sometida cuando es activado el cilindro neumático y se presiona contra las piezas.

Figura 43. Vista de la placa de sujeción.



### 3.1.4 Cilindro neumático y válvula solenoide

Para la base de sujeción se usó un cilindro neumático de simple efecto mostrado en la figura 44, debido a que durante la carrera de retroceso no debe realizar trabajo y para su control se usó una electroválvula mostrada en la figura 45 que funciona a 24V. La válvula es activada o desactivada desde el programa monitor de la celda de manufactura flexible y el cilindro neumático es alimentado por una derivación de la línea neumática que tiene el torno CNC de la celda de manufactura.

Figura 44. Vista cilindro neumático de la base de sujeción.



## Especificaciones técnicas

**Marca:** Airtac

**Modelo:** MSA20X50-S

**Presión de operación:** (28-145) psi, (2-10)bar

**Temperatura de operación:** (-20 a 70)°C

**Rango de velocidad:** (50-800) mm/s

**Carrera:** 50mm

**Diámetro:** 20mm

Figura 45. Válvula solenoide.



Accionamiento  
manual de la  
válvula

### Especificaciones técnicas

#### Válvula

**Marca:** Airtac

**Modelo:** 3V210-08-NC

**Puerto:** Entrada: 1/8" Salida: 1/8"

**Tipo de válvula:** 3 vías 2 posiciones

**Presión de operación:** (21-114) psi

**Temperatura de operación:** (-20 a 70)°C

**Material del cuerpo:** aleación de aluminio.

#### Bobina

**Marca:** STNC

**Tensión:** DC24V

**Potencia:** 4W

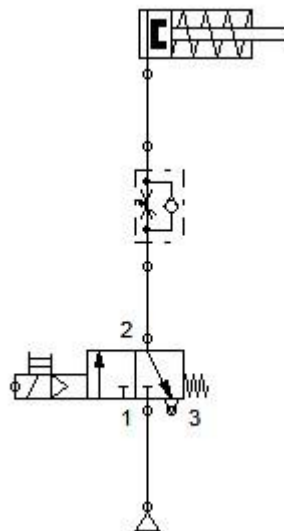
**Protección:** IP65

**Tiempo de activación:** 0,05s

**Frecuencia máxima:** 5 ciclos/s

En la línea de entrada de aire del cilindro neumático, se hizo necesario instalar una válvula de estrangulamiento, con el fin de reducir la velocidad a la cual se desplaza el émbolo para que las piezas sean sujetadas de manera lenta sin que se caigan de los pallets, en la figura 46 se presenta un esquema del circuito neumático. Se recomienda que la presión de aire para el cilindro sea ajustada a 30 psi, para que el tope de la base de sujeción no se flecte demasiado por la fuerza ejercida por el cilindro y las piezas queden desniveladas.

Figura 46. Esquema del circuito neumático de la base de sujeción.



### 3.2 Programas en código G para mecanizado de las 3 piezas

El código G es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por computador CNC que puede ser usado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos para simplificar operaciones. El código G se almacena en formato de texto, es decir, puede leerse y modificarse con un editor de texto plano, aunque lo más habitual es que se genere y se visualice desde una aplicación de modelado.

El código G describe el movimiento y las diferentes operaciones que la máquina CNC debe realizar para la fabricación de la pieza. Actualmente el código G se ha popularizado mucho gracias a la impresión 3D. Los programas de fabricación asistida por computador CAM suelen generar directamente documentos con las instrucciones G-Code. Los programas genéricos de modelado tridimensional no siempre tienen prevista esta opción por lo que se utiliza un formato intermedio (el más común es STL)

que puede ser leído por aplicaciones específicas que generan el código G para la fabricación [9].

Las operaciones que se deben realizar a las piezas son planeados, de manera que queden con una base para que se puedan apoyar sin que rueden, y unas perforaciones con diámetro de 8mm y 7,5mm de profundidad a partir de la cara planeada, en las figuras 47, 48 y 49 se observan las operaciones de mecanizado a realizar. Se decidió realizar el planeado en una sola pasada, de manera que el proceso tardara poco; aún con esta condición el acabado superficial de las piezas no es tan rústico. La perforación se realiza con la misma fresa utilizada para el planeado, debido a que la máquina no cuenta con cambio de herramienta para utilizar una broca, sin embargo, el agujero queda bien realizado.

Figura 47. Vista de la pieza A mecanizada.



Figura 48. Vista de la pieza B mecanizada.



Figura 49. Vista de la pieza C mecanizada.



Los programas en código G para las piezas fueron generados en *MasterCam X7*, que es un software CAD/CAM muy popular para manufactura en máquinas de control numérico y centros de mecanizado CNC. Los programas en código G se pueden ver en el anexo B.

## 4. MANUAL DE OPERACIÓN

En este capítulo se describirán las acciones a realizar para el correcto funcionamiento de la fresadora didáctica CNC en el mecanizado de las piezas requeridas.

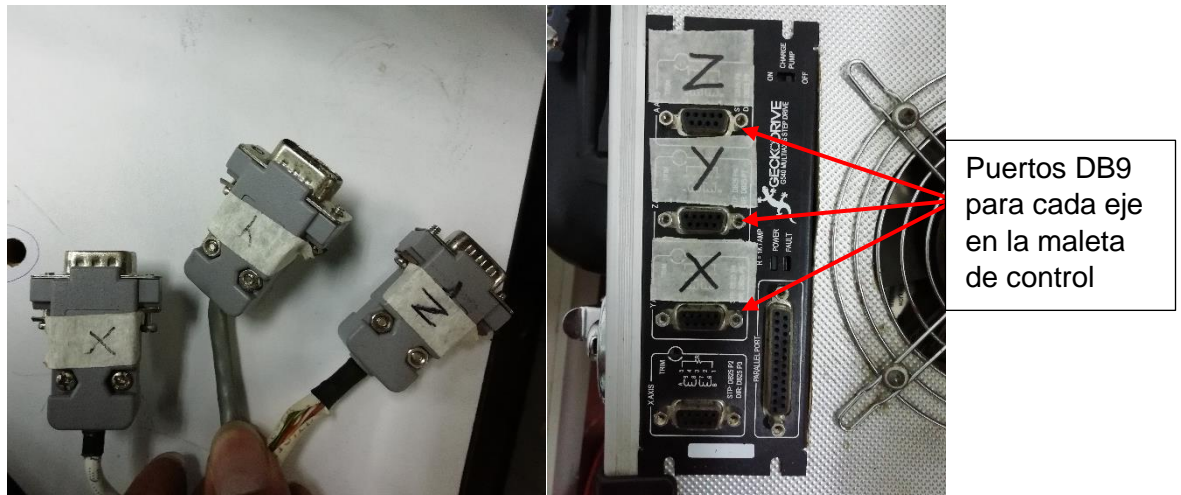
### 4.1 Conexiones previas

Se describirán las conexiones necesarias entre la máquina, la maleta de control y el PC requeridas para el funcionamiento de la fresadora.

#### 1. Conexión de los motores de los ejes coordenados de la máquina X, Y y Z:

Ubicar los cables de la máquina marcados con las letras X, Y y Z y conectarlos de manera correspondiente con los puertos DB9 (también marcados) que se encuentran en la maleta de control como se muestra en la figura 50, es recomendable atornillar los acoples del cable.

Figura 50. Puertos y cables de los motores de cada eje coordenado.



**2. Alimentación del mototool:** conectar el cable de alimentación del mototool al tomacorriente de la maleta de control, mostrado en la figura 51. Este tomacorriente solo debe ser utilizado con este fin.

Figura 51. Tomacorriente para alimentación de mototool.





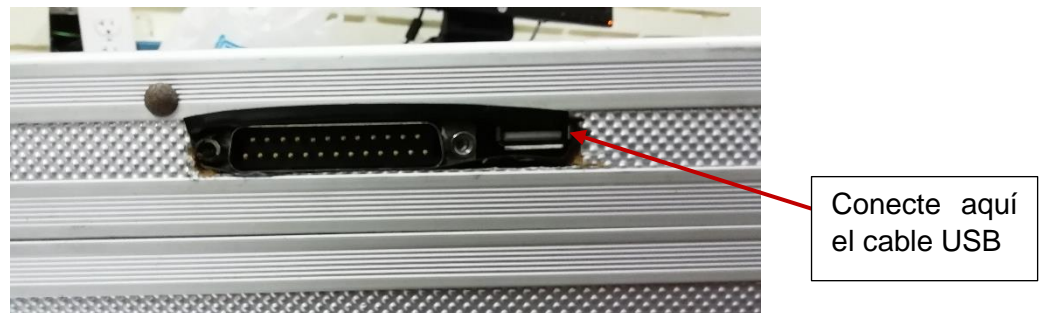
**3. Comunicación con el PC (puerto paralelo):** conectar el cable DB25 al puerto paralelo del PC y el otro extremo del cable al puerto que se encuentra en la parte de atrás de la maleta de control como se muestra en la figura 52.

Figura 52. Conexión con el puerto paralelo.



**4. Alimentación de la tarjeta de interfaz CNC:** conecte el cable USB al puerto que está al lado del puerto paralelo en la maleta de control como se muestra en la figura 53, el otro extremo del cable se conecta a cualquier puerto USB disponible en el PC, también puede conectarse a un adaptador de 5V y éste a un tomacorriente ordinario.

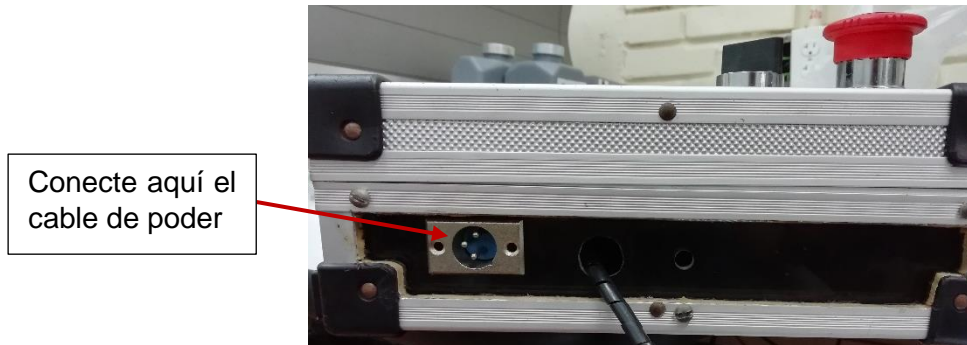
Figura 53. Alimentación de la tarjeta de interfaz CNC.



**5. Alimentación de la maleta de control:** conectar el cable de poder al puerto para alimentación de la maleta de control mostrado en la figura 54 de manera que quede bien acoplado y conecte el enchufe a un tomacorriente.

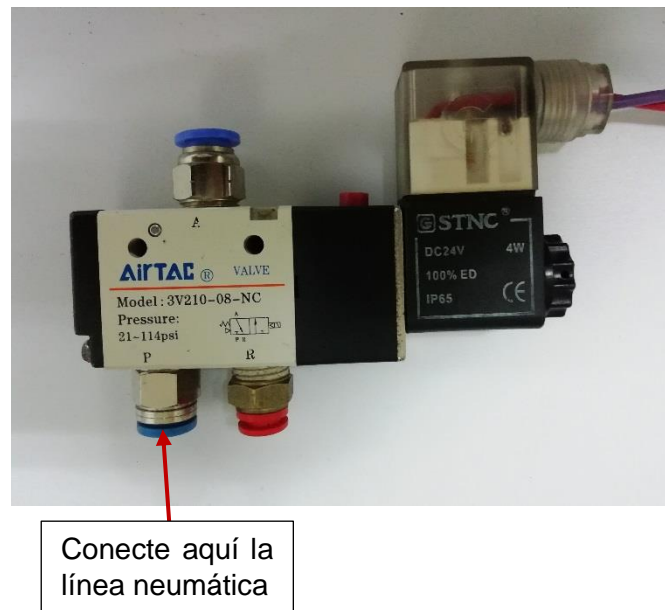


Figura 54. Conexión para alimentación de la maleta de control.



**6. Alimentación de aire comprimido del cilindro neumático:** Conectar la línea de aire comprimido al acople de la válvula como se muestra en la figura 55, esto para usar el cilindro neumático de la base de sujeción.

Figura 55. Conexión de alimentación neumática.



#### 4.2 Acciones básicas en Mach3

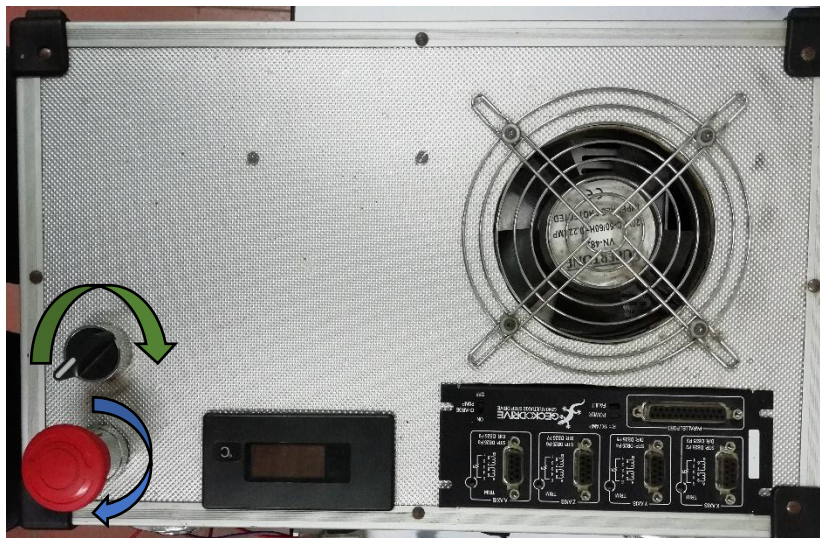
A continuación, se describirán acciones básicas en el manejo de la fresadora didáctica CNC mediante el software Mach3.

#### 4.2.1 Encendido de la máquina

Con las conexiones previas ya realizadas, ya se puede realizar el encendido de la máquina como se muestra en la figura 56, proceda de la siguiente forma:

1. Desactive el botón de parada de emergencia de la maleta de control, para ello gire hacia la derecha, el botón quedará desenclavado.
2. Accione el interruptor de encendido/apagado de la maleta de control, gírelo hacia la derecha, al hacerlo se deberán escuchar los motores de la máquina energizados y se encenderá el ventilador de la maleta de control.

Figura 56. Encendido de la máquina.



#### 4.2.2 Realizar movimientos de la máquina manualmente

Si desea que la máquina realice acciones como desplazarse en un eje o encender el husillo, o como prueba para saber que después del encendido la máquina está lista para realizar una operación de mecanizado, siga el proceso descrito a continuación.

1. Realizar el encendido de la máquina.
2. Abrir el programa *Mach3Loader* desde el acceso directo en el escritorio.
3. Seleccione el perfil preconfigurado para la máquina, este es 540BVFD tal como se muestra en la figura 57 y haga clic en Ok.
4. Al seleccionar el perfil se abrirá una ventana de la pestaña “*Program Run*” como se aprecia en la figura 58, este es el entorno de trabajo de *Mach3* y desde aquí podrá realizar acciones de la máquina de forma manual. Antes de realizar cualquier acción, deberá hacer clic en el botón parpadeante RESET, si no lo hace la máquina se comportará como si el botón parada de emergencia estuviera presionado y no realizará ningún movimiento que le ordene.

Figura 57. Selección de perfil en Mach3.

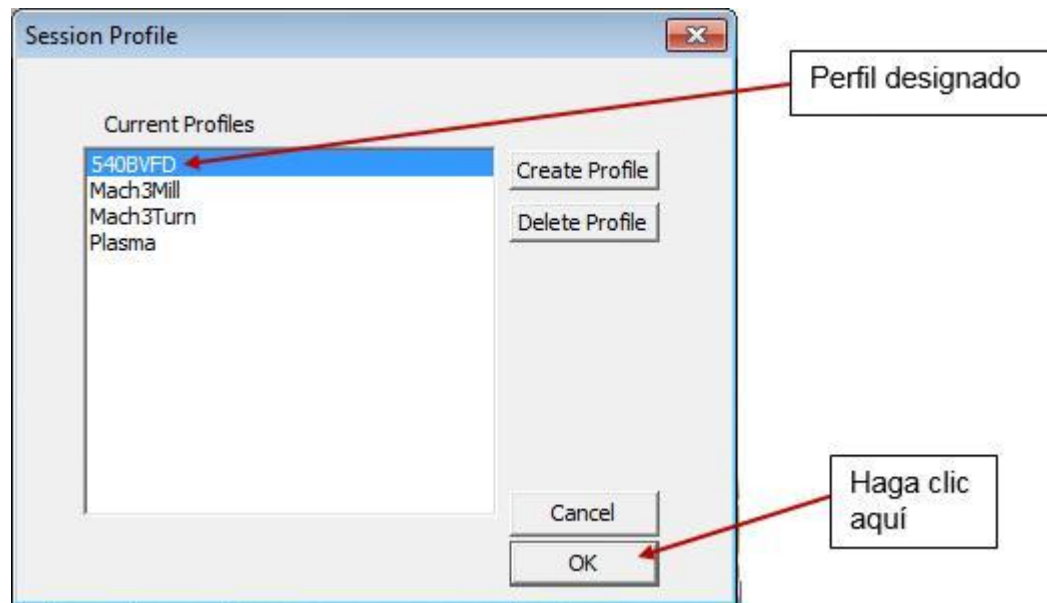
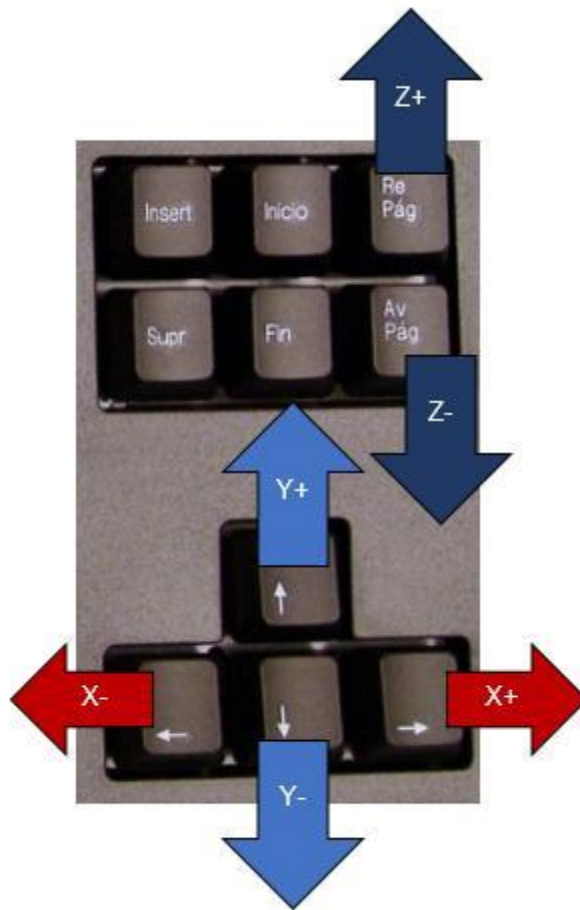


Figura 58. Ventana Program Run.



5. Para realizar el desplazamiento de alguno de los ejes, lo puede hacer mediante el teclado usando las teclas de dirección, Repág y Avpág, tal como se observa en la figura 59.

Figura 59. Movimiento manual de los ejes de la máquina.



En caso de que se active uno de los límites suaves de alguno de los ejes debido a que ya llegó a su final de carrera mientras se está desplazando, la máquina ya no recibirá órdenes del teclado, primero debe hacer clic en el botón *Reset* y después podrá seguir moviendo la máquina manualmente desde el teclado.

Puede seleccionar la velocidad de avance lenta de los ejes para casos en los que requiera que los desplazamientos sean más cuidadosos presionando la tecla *Tab* del teclado, saldrá una ventana, mostrada en la figura 60, para mandos manuales con el porcentaje de velocidad de avance de los ejes, allí podrá ajustar el porcentaje desde las flechas (de a 5%) o digitando un valor en el recuadro y luego presionando *Enter*. También puede realizar el movimiento de los ejes haciendo clic en los botones de mando que allí aparecen, use la tecla *Tab* para esconder la ventana.

6. Para encender o apagar el husillo de la máquina basta con presionar la tecla *F5*, si esto no sucede verifique que el mototool esté conectado y haga la comprobación de que el selector de velocidad del mototool no esté en cero, como se muestra en la figura 61.

Figura 60. Ventana de velocidad de avance lento.

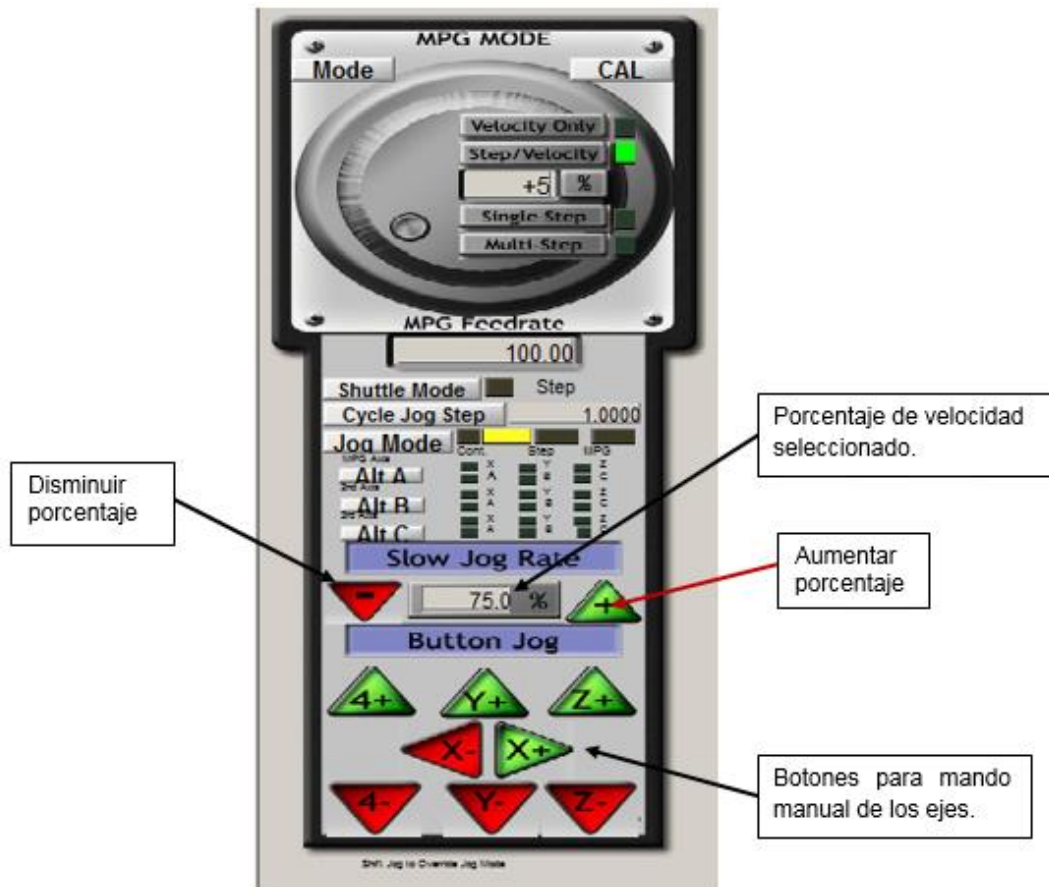
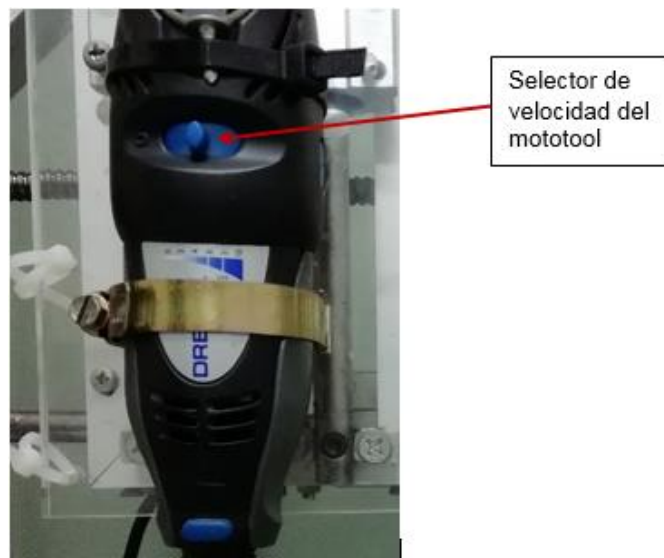


Figura 61. Vista del selector de velocidad del mototool de la máquina.





#### 4.2.3 Mando de la máquina mediante órdenes de código G

*Mach3* permite realizar acciones de la máquina mediante líneas de código G que se ingresan manualmente. La pestaña MDI (entrada manual de datos) tiene una casilla para la entrada de datos mostrada en la figura 62, puede hacer clic en ella para seleccionarlo y puede escribir cualquier línea sencilla de código G o una línea de un programa, al presionar la tecla Enter la máquina ejecutará las instrucciones dadas, como por ejemplo que la herramienta vaya a unas coordenadas deseadas, encendido o apagado del husillo, selección de la velocidad de avance, etc. Las órdenes quedarán en un historial de comandos que usted haya usado y podrá ejecutarlas sin necesidad de volver a ingresarlas.

Figura 62. Vista de la ventana para ingreso manual de datos.



#### 4.2.4 Apagado de la máquina

Después de haber realizado las operaciones requeridas en la máquina fresadora y se requiera realizar el apagado de la máquina, primero se debe llevar al *Home*, es decir, todos los ejes deben quedar en cero en las coordenadas de la máquina, si esto no se realiza, se perderá la referencia de la máquina y se deberá configurar nuevamente el *Home* tal como se describe en el numeral 2.2.5 *Configuración de Home y límites suaves*. Si lo último que se realizó en la máquina fue la ejecución de los programas

de mecanizado de las piezas de la celda de manufactura, no es necesario llevar manualmente la máquina a la posición de *Home*, debido a que dentro de cada uno de los 3 programas de mecanizado, ya se encuentra la instrucción de ir al *Home* G28, así que puede apagar la máquina saltando este paso. A continuación, se describe el procedimiento para realizar el apagado de la máquina.

1. Abra la ventana MDI, digite en la casilla de entrada de datos G28 y presione la tecla Enter. La máquina dirigirá la herramienta a la posición de *Home*, espere a que se detenga para continuar con el siguiente paso.
2. Cierre el programa *Mach3*.
3. Gire el interruptor de la maleta de control a la posición de apagado y presione el botón de parada de emergencia, tal como se muestra en la figura 63.

Figura 63. Procedimiento para apagado de la máquina.



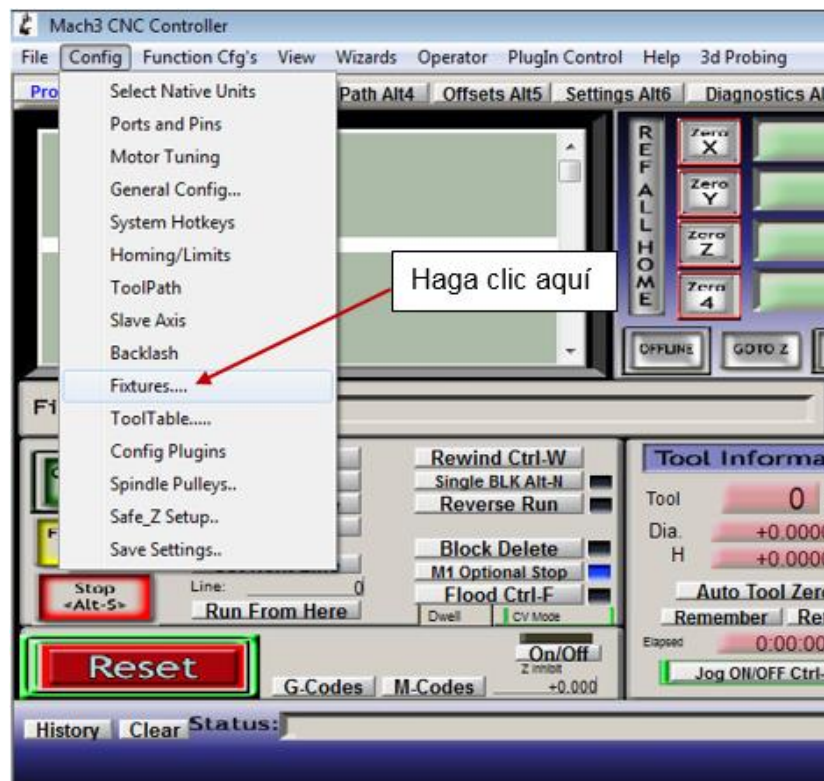
4. Desconecte el enchufe de alimentación de la maleta de control.
5. Es recomendable desconectar el cable USB del computador o del puerto de la maleta de control, debido a que cuando se encienda o apague el computador se activará o desactivará el relé que enciende y apaga el mototool, aunque no se encenderá el mototool debido a que la máquina ya está apagada.

### 4.3 Configurar ceros de pieza

Para establecer el origen de la pieza que se vaya a mecanizar se usan los ceros de pieza, es decir, el punto de referencia de las coordenadas que se encuentran en el programa de mecanizado. Los ceros de las piezas a mecanizar en la celda de manufactura ya se encuentran configurados como G54, G55 y G56. Para referenciar otras piezas, se deben usar otros de tal manera que no se modifiquen los anteriores. *Mach3* permite guardar 253 ceros de pieza diferentes, desde G54 hasta G59P253, para configurar un cero de pieza siga los siguientes pasos:

1. Haga clic en la pestaña *Config > Fixtures* como se muestra en la figura 64.

Figura 64. Ventana para configuración de ceros de pieza.



2. Se abrirá la ventana *Work Offsets* mostrada en la figura 65, allí aparecerá una tabla, en la columna izquierda *G Code Pos*, están los ceros de pieza de G54 a G59P253 las siguientes columnas X, Y, Z, A, B y C, pertenecen a los ejes de máquina que puede controlar *Mach3* y en la columna de la derecha *Name*, se puede escribir un comentario. Las casillas vacías se deben llenar con las coordenadas absolutas de la posición de la herramienta donde se desea configurar el cero de la pieza, para la fresadora solo se debe configurar X, Y y Z.

3. Lleve de manera manual o mediante instrucciones de código G la herramienta de la máquina a la posición (en los tres ejes), donde desea que esté el cero de la pieza a mecanizar.



4. En la ventana *Program Run* haga clic en el botón *Machine Coord's*, el botón estará iluminado en sus bordes si las coordenadas máquina o absolutas son las que están activadas como se muestra en la figura 66, en la parte superior del botón se mostrarán las coordenadas absolutas de la posición actual de la herramienta.

Figura 65. Vista de la ventana *Work Offsets*.

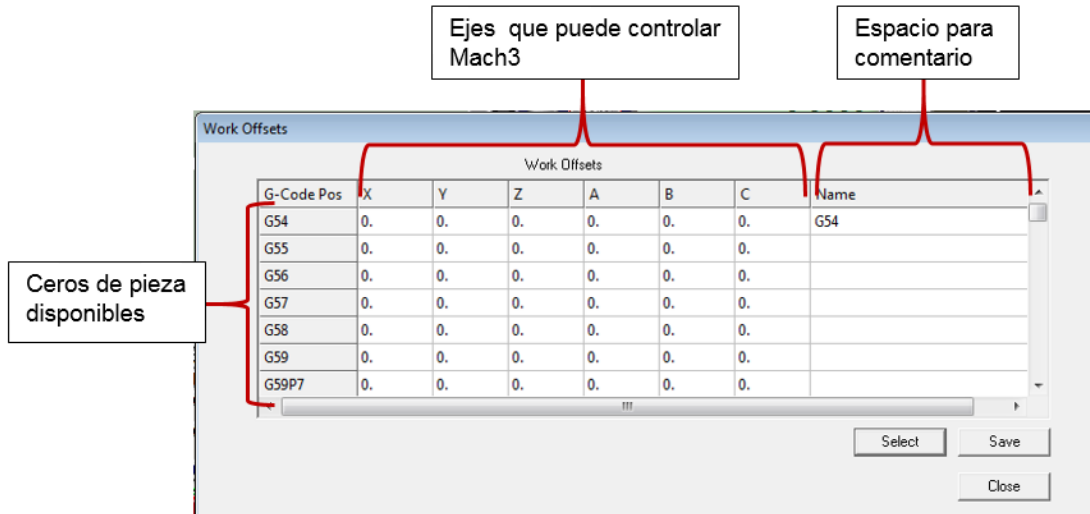
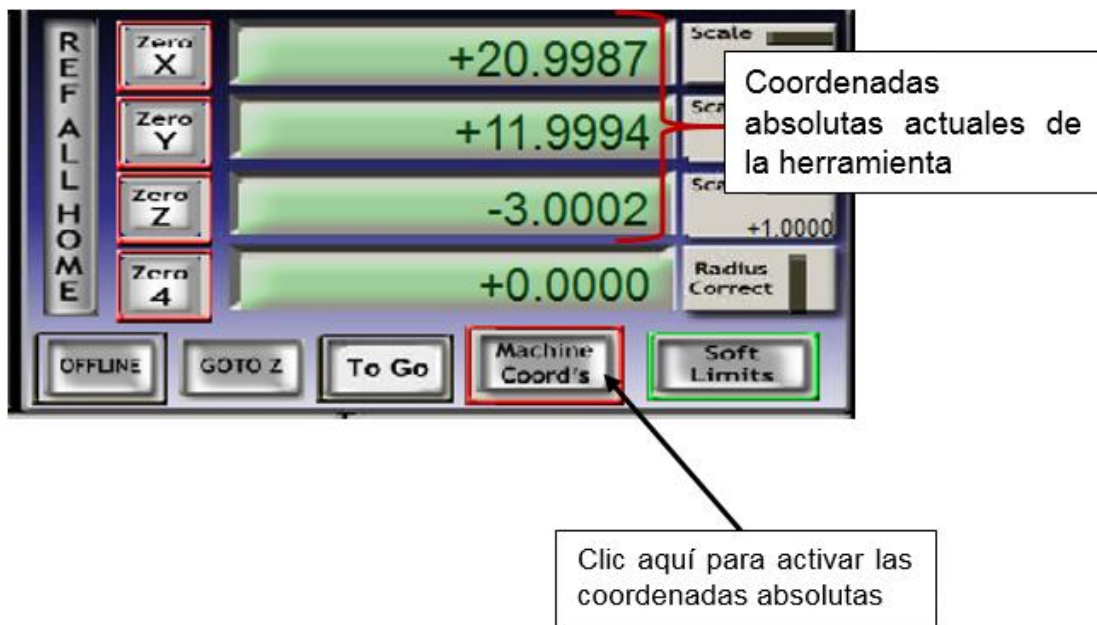
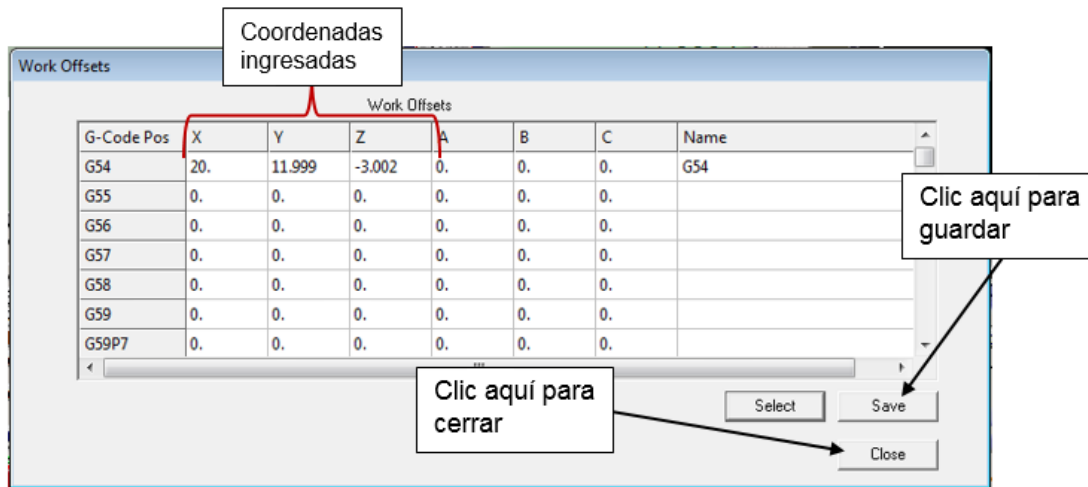


Figura 66. Visualización de las coordenadas absolutas actuales.



5. Las coordenadas del paso anterior son las que deberá digitar en las casillas de la ventana Work Offsets, con el punto o coma y el signo menos (-) si es el caso. Después de ingresar las coordenadas haga clic en el botón *Save* para guardar la configuración y luego en el botón *Close* para cerrar. En la figura 67 se muestra la configuración para las coordenadas de la figura 66.

Figura 67. Configuración del cero de pieza.



6. Para comprobar que se configuró correctamente el cero de la pieza, vaya a la ventana MDI, ingrese el nombre del código en el que configuró el cero de pieza, para las coordenadas anteriores fue G54, oprima Enter, después lleve la máquina a X0, Y0 y Z0. La herramienta debería quedar justo en la posición donde desea tener el cero de pieza. El código para probar la configuración de la figura 67 sería:

G54

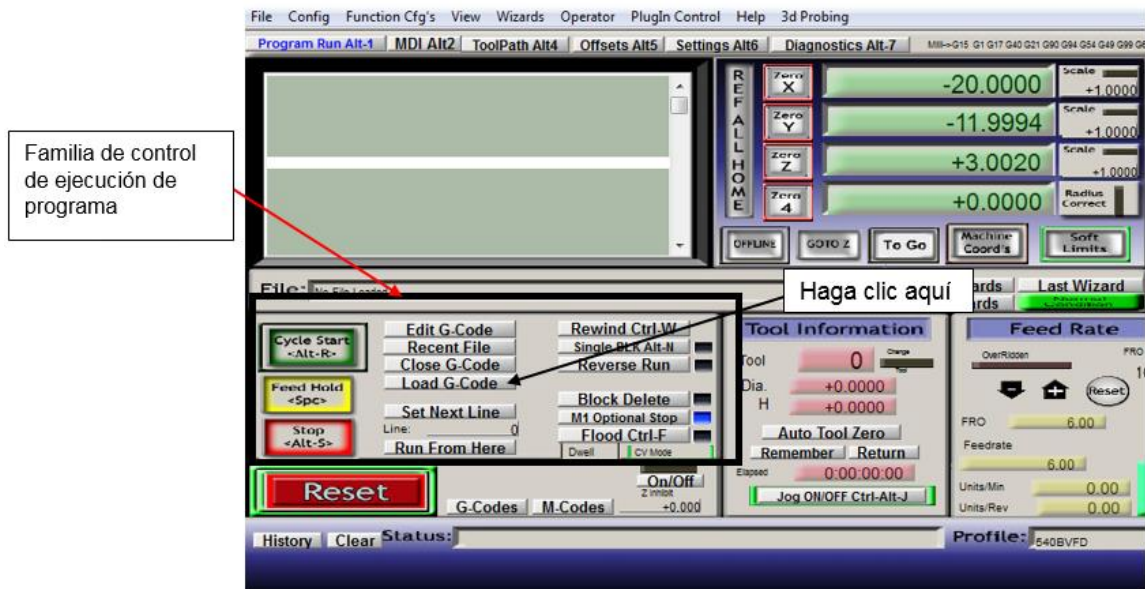
G00 X0. Y0. Z0.

#### 4.4 Ejecutar un programa de código G

A continuación, se explicará el procedimiento para ejecutar un programa de código G ya existente.

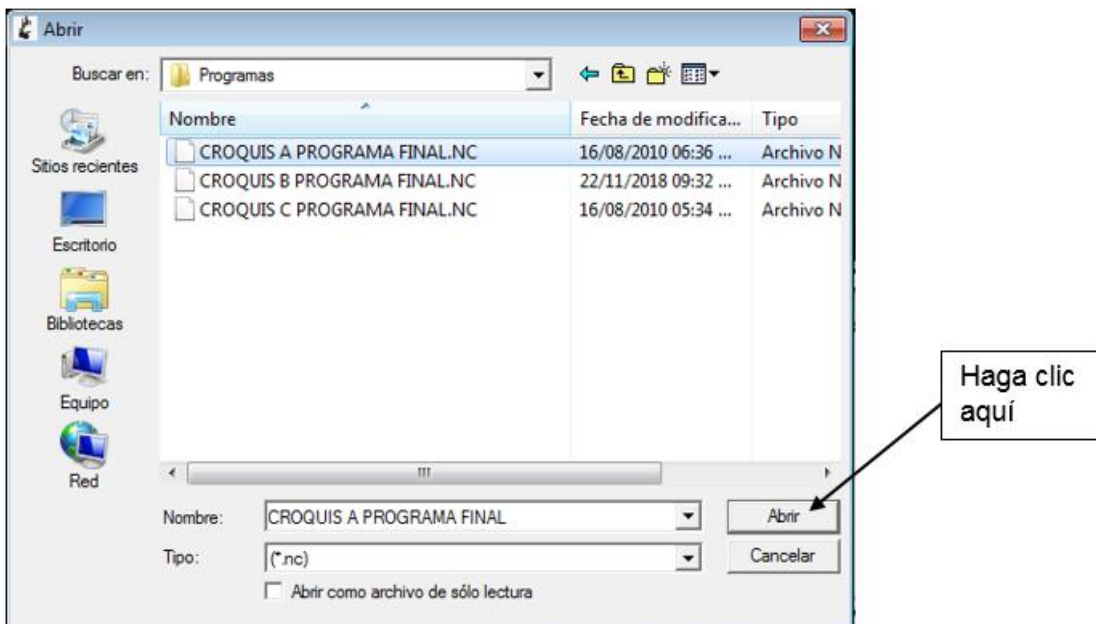
1. En la ventana Program Run, haga clic en el botón *Load G-code* como se muestra en la figura 68.
2. Se abrirá una ventana en donde podrá seleccionar el archivo del programa de mecanizado.

Figura 68. Vista de la familia de control de ejecución de programa.



3. Una vez encontrado el archivo donde se encuentra el programa de mecanizado, haga clic en *Abrir*, como se muestra en la figura 69. Los archivos de programas en código G que puede interpretar *Mach3* tienen extensión \*.nc.

Figura 69. Selección del archivo del programa de mecanizado.



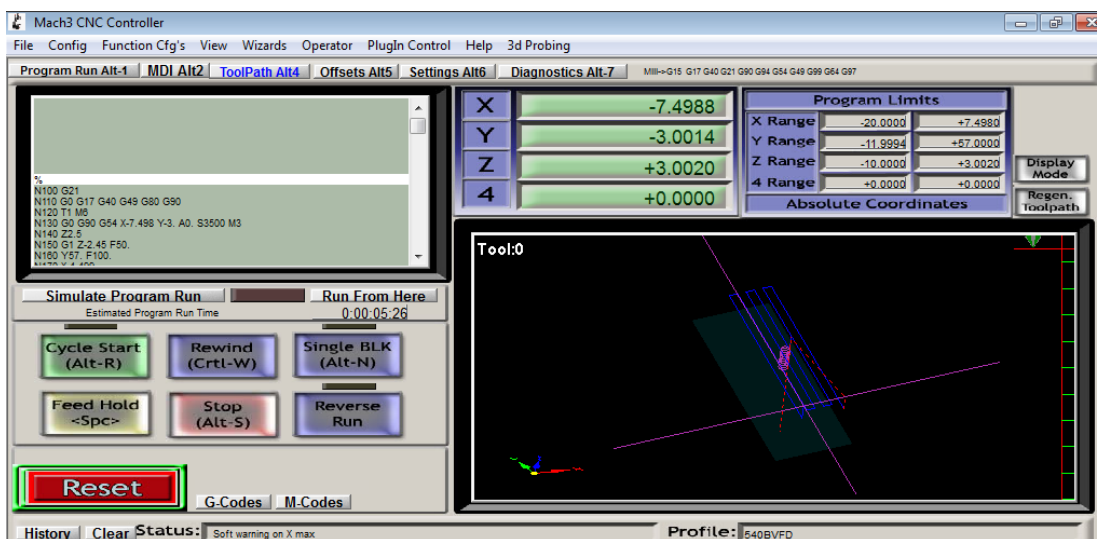
4. Una vez haya abierto el archivo del programa, podrá visualizar las líneas de código G que este contiene y también podrá visualizar la trayectoria de la herramienta en el plano XY descrita en el código tal como se muestra en la figura 70.

Figura 70. Programa cargado en Mach3.



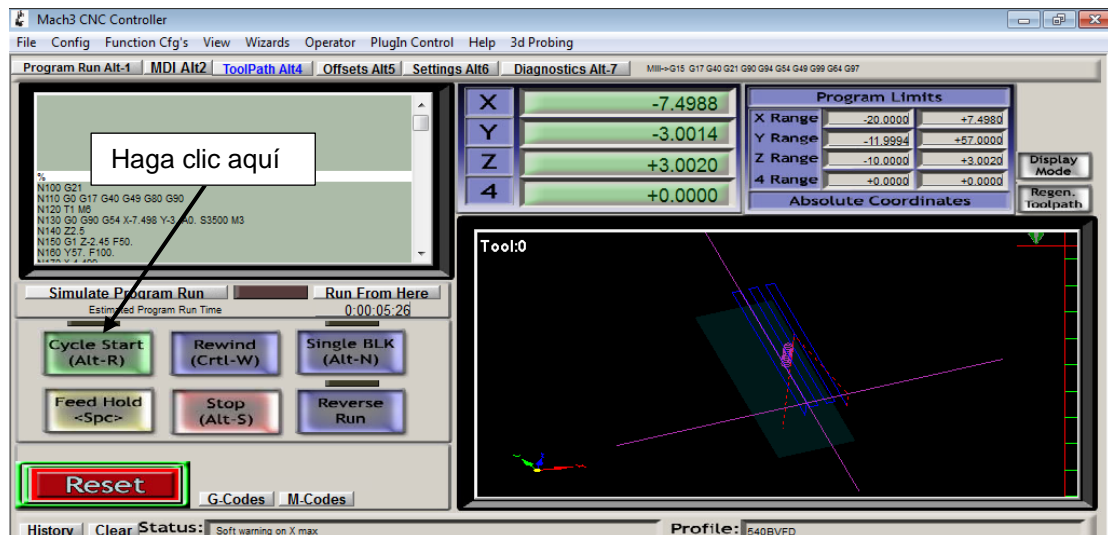
Para obtener una vista más simplificada, donde se muestre únicamente la información que es de interés durante la ejecución del programa, es recomendable ir a la ventana *ToolPath* tal como se muestra en la figura 71. En esta ventana Usted podrá visualizar mucho mejor la familia de control de ejecución de programa, el cuadro donde se muestra la trayectoria de la herramienta será más grande y haciendo doble clic en el cuadro, podrá ver la trayectoria en los 3 ejes.

Figura 71. Vista de la ventana ToolPath.



5. Para comenzar el proceso de mecanizado haga clic en el botón *Cycle Start* mostrado en la figura 72 o use la combinación de teclas que aparecen en el botón Alt+R.

Figura 72. Ejecución de programa.



6. Al finalizar el programa de mecanizado, realice la rutina de apagado de la máquina como se explicó anteriormente en el numeral 4.2.4 *Apagado de la máquina*. Si el programa ejecutado es para cualquiera de las 3 piezas de la celda de manufactura, puede omitir el paso de llevar la máquina al *Home*, debido a que dentro del código de los 3 programas ya está incluida esta orden.

A continuación, se explicará la función de los demás botones de la familia de ejecución de programa [8].

**FeedHold:** Este botón detendrá la ejecución del programa tan pronto como sea posible, pero de una manera controlada, así puede comenzarse de nuevo por *Cycle Start*. El husillo permanecerá encendido, pero puede ser apagado de forma manual de ser requerido, pero debe encenderlo nuevamente antes de volver a iniciar.

**Stop:** Detiene el movimiento de los ejes tan pronto como sea posible. Puede dar como resultado la pérdida de pasos, especialmente en máquinas como ésta que posee motores paso a paso. Luego de presionado no es válido reiniciar.

**Rewind:** Rebobina el programa cargado actualmente.

**Single BLK:** En este modo se ejecutará la siguiente línea del código, es decir se ejecutará el programa por líneas de forma pausada.

**Reverse Run:** Debería ser usado después de un *FeedHold* o un *SingleBLK* y el próximo *Cycle Start* causarán que el programa se ejecute marcha atrás. Esto es particularmente útil en la recuperación de una condición de arco perdida en un corte o una herramienta rota.

## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos y las conclusiones que ha dejado la realización del presente trabajo.

### 5.1 Resultados

Con el trabajo desarrollado se logró habilitar una fresadora CNC didáctica para que sea funcional y opere controlada desde una FMC de mecanizado.

De acuerdo con la metodología propuesta, se llevó a cabo el proceso de habilitación de la máquina que terminó con la modificación de algunos de los componentes. A continuación, se listan dichos cambios:

- Adquisición de tarjeta de interfaz CNC de 5 ejes para integrarla a la tarjeta controladora G540.
- Cambio de la mesa de trabajo de la máquina por la base de sujeción automática.

Con los programas de código G elaborados, se realizaron las pruebas de operación de la máquina, mecanizando las tres piezas y también se comprobó el funcionamiento de la base de sujeción construida.

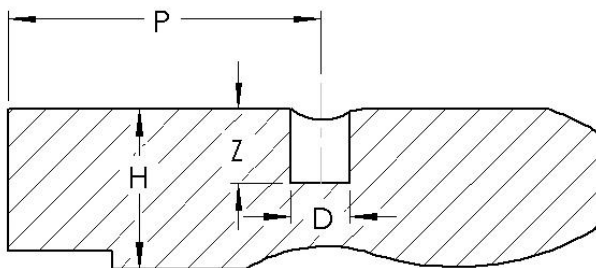
Se realizó un análisis dimensional de las piezas mecanizadas, donde se determina el error obtenido con base a las dimensiones ideales que debería tener la pieza después del mecanizado. Se mecanizaron dos piezas de cada tipo (A, B y C) y se realizó la medición de cada una.

Las mediciones fueron realizadas con un calibrador pie de rey, se midieron cuatro dimensiones características del proceso de mecanizado realizado por la fresadora CNC, las lecturas arrojadas por el instrumento se registraron en tablas mostradas a continuación.

#### Medición pieza A

Se realizó el proceso de medición de la pieza A tal como se muestra en la figura 73.

Figura 73. Vista de las dimensiones medidas a la pieza A.





En la tabla 1 se registraron las lecturas obtenidas de las mediciones realizadas a dos piezas del tipo A.

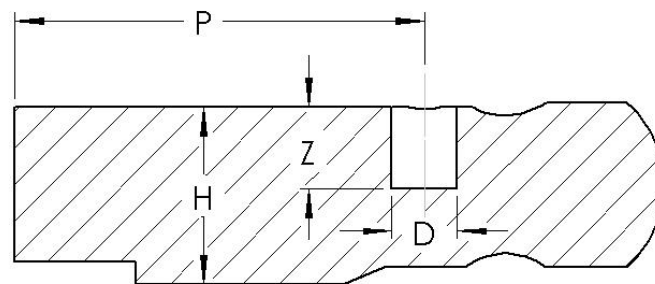
Tabla 1. Análisis dimensional de la pieza A.

COTA	MEDIDA IDEAL [mm]	PIEZA	MEDIDA REAL [mm]	ERROR [mm]	ERROR PORCENTUAL
H	21,50	A1	21,50	0,00	0,00%
		A2	21,59	0,09	0,42%
P	42,00	A1	42,20	0,20	0,48%
		A2	40,82	-1,18	2,81%
D	8,00	A1	7,99	-0,01	0,12%
		A2	8,03	0,03	0,37%
Z	7,50	A1	7,47	-0,03	0,40%
		A2	7,48	-0,02	0,27%

### Medición pieza B

Se realizó la medición a la pieza B tal como se muestra en la figura 74.

Figura 74. Vista de las dimensiones medidas a la pieza B.



En la tabla 2 se registraron las lecturas obtenidas de las mediciones realizadas a dos piezas del tipo B.

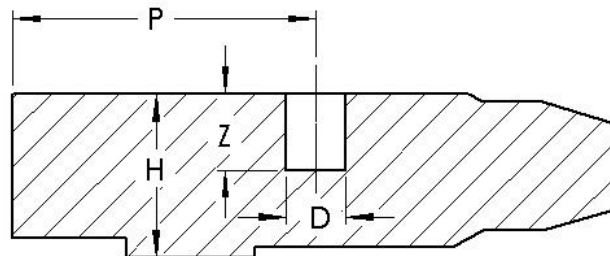
Tabla 2. Análisis dimensional de la pieza B.

COTA	MEDIDA IDEAL [mm]	PIEZA	MEDIDA REAL [mm]	ERROR [mm]	ERROR PORCENTUAL
H	21,81	B1	21,76	-0,05	0,23%
		B2	21,65	-0,16	0,73%
P	50,50	B1	48,90	-1,60	3,17%
		B2	49,01	-1,49	2,95%
D	8,00	B1	8,04	0,04	0,50%
		B2	8,05	0,05	0,63%
Z	7,50	B1	7,66	0,16	2,13%
		B2	7,52	0,02	0,27%

### Medición pieza C

Se realizó la medición a la pieza C tal como se muestra en la figura 75.

Figura 75. Vista de las dimensiones medidas a la pieza C.



En la tabla 3 se registraron las lecturas obtenidas de las mediciones realizadas a dos piezas del tipo C.



Tabla 3. Análisis dimensional de la pieza C.

COTA	MEDIDA IDEAL [mm]	PIEZA	MEDIDA REAL [mm]	ERROR [mm]	ERROR PORCENTUAL
H	21,50	C1	21,39	-0,11	0,5%
		C2	21,55	0,05	0,2%
P	40,00	C1	38,62	-1,38	3,5%
		C2	39,19	-0,81	2,0%
D	8,00	C1	8,09	0,09	1,1%
		C2	8,11	0,11	1,4%
Z	7,50	C1	7,50	0,00	0,0%
		C2	7,48	-0,02	0,3%

En las tablas 1, 2 y 3 de las mediciones realizadas a las piezas mecanizadas por la fresadora didáctica, se puede notar que tienen en común que el mayor error dimensional se encuentra en la cota P, es decir, en la distancia del centro del agujero hasta el extremo izquierdo de las piezas. Esto puede deberse, aparte de otras variables que influyen en el mecanizado, a que el eje Y de la máquina tiene una mayor carga durante el mecanizado, debido a que debe desplazar el peso de la estructura superior donde se encuentran los ejes X y Z además de la carga que genera el corte de material, de manera que se ve afectada la dimensión final de las piezas.

Los errores dimensionales obtenidos son bajos, teniendo en cuenta que la máquina es de carácter didáctico (capacidad de trabajo, tamaño, robustez, etc.) y que las piezas después de ser mecanizadas en el torno CNC también tienen unos errores dimensionales, de manera que no van a ser siempre las mismas piezas y esto también puede influir en las dimensiones finales de estas.

## 5.2 Conclusiones

La realización de este trabajo ha permitido llegar a las siguientes conclusiones.

- Se logró rehabilitar una fresadora didáctica CNC que llevaba un tiempo considerable sin ser operada y cuya estructura fue usada como máquina de medición por coordenadas. Se habilitó como fresadora nuevamente para ser una máquina funcional operando dentro de una celda de manufactura flexible de mecanizado.

- Se realizó el desarme de la máquina para posteriormente realizar la limpieza, se retiraron las piezas innecesarias para su uso como fresadora, se realizaron los ajustes de los ejes X, Y y Z, seguidamente se lubricaron las partes móviles de la máquina para dejar la parte física funcional.
- Una de las mayores dificultades durante el desarrollo del presente trabajo fue la tarjeta controladora G540 que después de comprobar que no enviaba señales hacia la máquina fue considerada como averiada. Lo crítico del problema fue que esta tarjeta tiene un costo considerable que no se tenía presupuestado en los recursos previstos para la realización del trabajo, por lo cual se debía encontrar una solución que no fuera adquirir otra tarjeta de estas. Para la solución del problema se adquirió una tarjeta de interfaz CNC que podía continuar usando los *drivers* que tenía incorporados la tarjeta G540 y además era compatible con el software *Mach3* así que se instaló en la maleta de control.
- Se logró diseñar y construir una base de sujeción automática para la sujeción de las piezas que se van a mecanizar en la celda de manufactura, de manera que para la sujeción no haya intervención manual de una persona, sino que solo se suelta la pieza sobre los *pallets* y seguidamente es sujeta la pieza. La base de sujeción es exclusiva para la geometría de las tres piezas que se mecanizan en la celda, de manera que si se van a mecanizar piezas que inicialmente tengan una geometría diferente, se deben sujetar con otros utillajes.
- Mediante el uso del software *Mastercam*, se elaboraron los programas de mecanizado para las operaciones a realizar en la fresadora didáctica a los tres tipos de piezas. Se optó por realizar un planeado y un agujero, operaciones básicas que se pueden realizar en una fresadora y que no se pueden hacer en el torno de la celda de manufactura. El mecanizado se programó de manera que el tiempo de ejecución fuera el menor posible, sin descuidar el acabado de las piezas. Al tener los tres programas finales, se probó su correcta operación fabricando cada una de las piezas.
- La celda de manufactura flexible [1] del laboratorio de manufactura flexible de la UTP, ahora contará con dos máquinas CNC, que es uno de los requisitos mínimos de una FMC y que anteriormente se cumplía con una máquina simulada.
- El presente trabajo se realizó teniendo como base conocimientos adquiridos en las asignaturas de la Escuela de Tecnología Mecánica tales como: mecatrónica, estandarización y metrología, procesos de manufactura, dibujo, control numérico que en conjunto permitieron alcanzar los objetivos propuestos.
- Se ampliaron conocimientos en el campo de las máquinas CNC basadas en PC, en cuanto a su construcción, ya que en la red se encuentran muchas páginas y comunidades dedicadas a proyectos de máquinas CNC y en tiendas online, se pueden comprar kits, guías, husillos, motores, drivers y todo lo necesario para construir una máquina CNC funcional, bien sea fresadora, cortadora láser o máquinas de impresión 3D.

- Mediante manuales y sitios en la red, se aprendió a manejar el software *Mach3*, desde la configuración para la máquina hasta su operación y ejecución de programas de mecanizado. Este es un software muy usado en máquinas CNC basadas en PC, permite controlar todos los elementos en una máquina CNC y su interfaz es amigable con el usuario haciendo que su manejo no sea muy difícil.

## 6. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los conocimientos y experiencia adquiridos con la realización del presente trabajo, se recomienda:

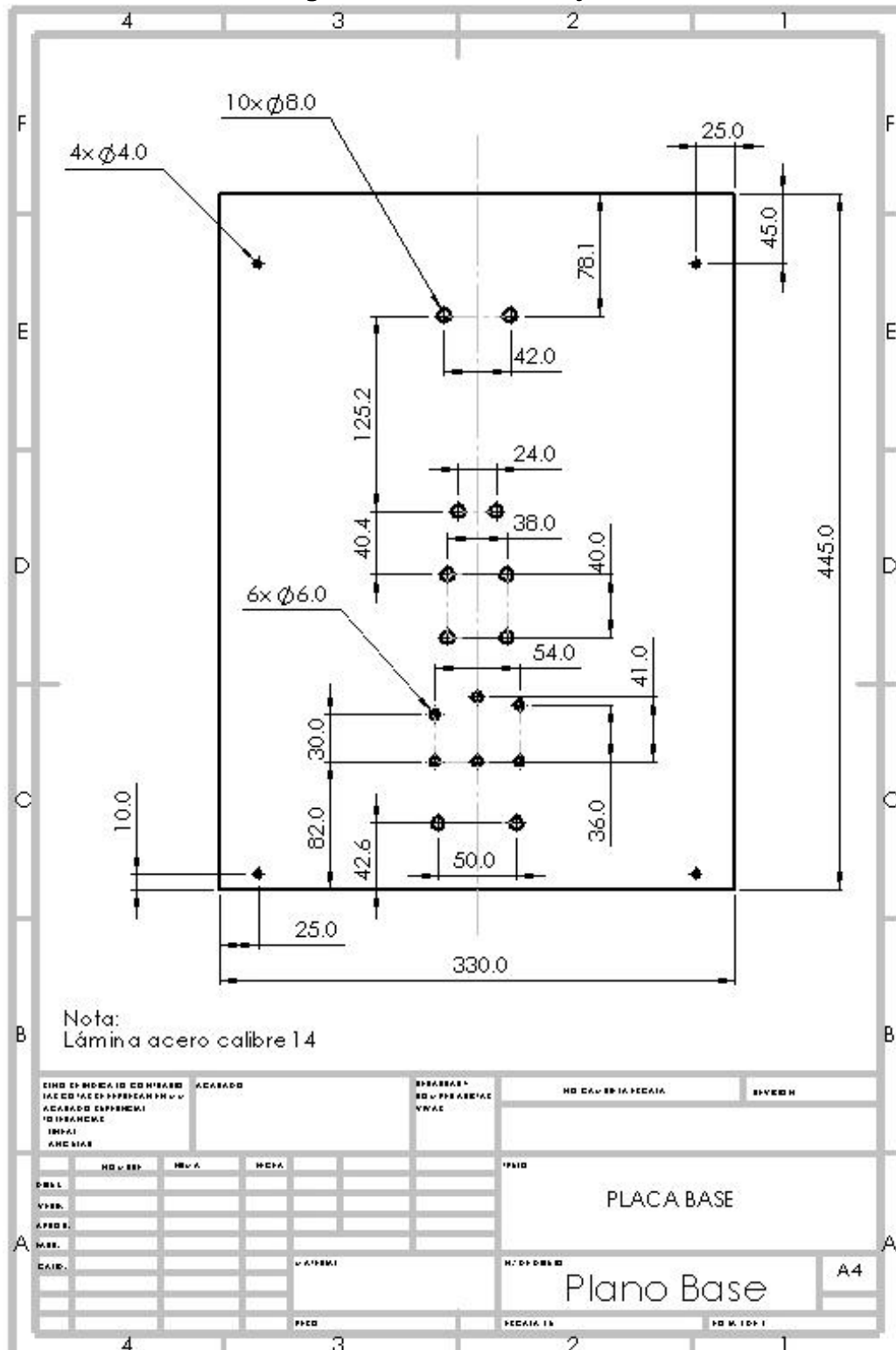
- Cambiar las guías lineales de todos los ejes de la máquina por unas guías de acero inoxidable, acero plata u otro material que no presente oxidación como las guías actuales, para que con el tiempo no se vea afectado el desplazamiento de la máquina, y evitar que haya un daño en los motores por exceso de carga u otros inconvenientes que se puedan generar, aunque si se mantienen engrasadas las guías actuales se evita su deterioro y no surgirán problemas y la máquina trabajará sin inconvenientes.
- Darle mayor rigidez a la estructura de la máquina, debido a que en su mayor parte está conformada por tubería de aluminio que aunque es de sección rectangular presenta flexión haciendo que hayan movimientos no deseados. Con la parafina que se trabaja en la FMC no hay problema, pero si en el futuro se trabajan otros materiales más duros, se pueden tener problemas al mecanizarlos.
- El software *Mach3* originalmente requiere que el PC donde está instalado tenga un puerto paralelo para enviar las órdenes de control hacia la máquina, los computadores actuales no tienen incorporado este puerto, por lo que es un requerimiento de la máquina trabajar con un PC que no sea moderno. Se pueden instalar en la CPU tarjetas que tengan este puerto, pero es posible que no funcionen bien con *Mach3*. Para eliminar esta limitación, ya que es difícil disponer de un computador con este puerto y para que cualquier computador pueda controlar la máquina, que sería una ventaja en caso de que ocurra una avería con el computador actual de la máquina, se recomienda que a futuro se cambie la comunicación por puerto paralelo que tiene actualmente la fresadora a una comunicación por puerto USB o cualquier otra conexión que sea común en los computadores actuales. Una opción a explorar podría ser la adquisición de una tarjeta de interfaz para Mach3 como la que tiene actualmente la maleta de control que tenga conexión con el PC vía USB en lugar del puerto paralelo, estas tarjetas son comerciales, aunque son más costosas que las que tienen conexión a puerto paralelo. Cabe destacar que es posible que usando otra forma de conexión entre PC y máquina es posible que no funcione del todo bien con *Mach3*, por lo que otra opción sería cambiar de software de control.

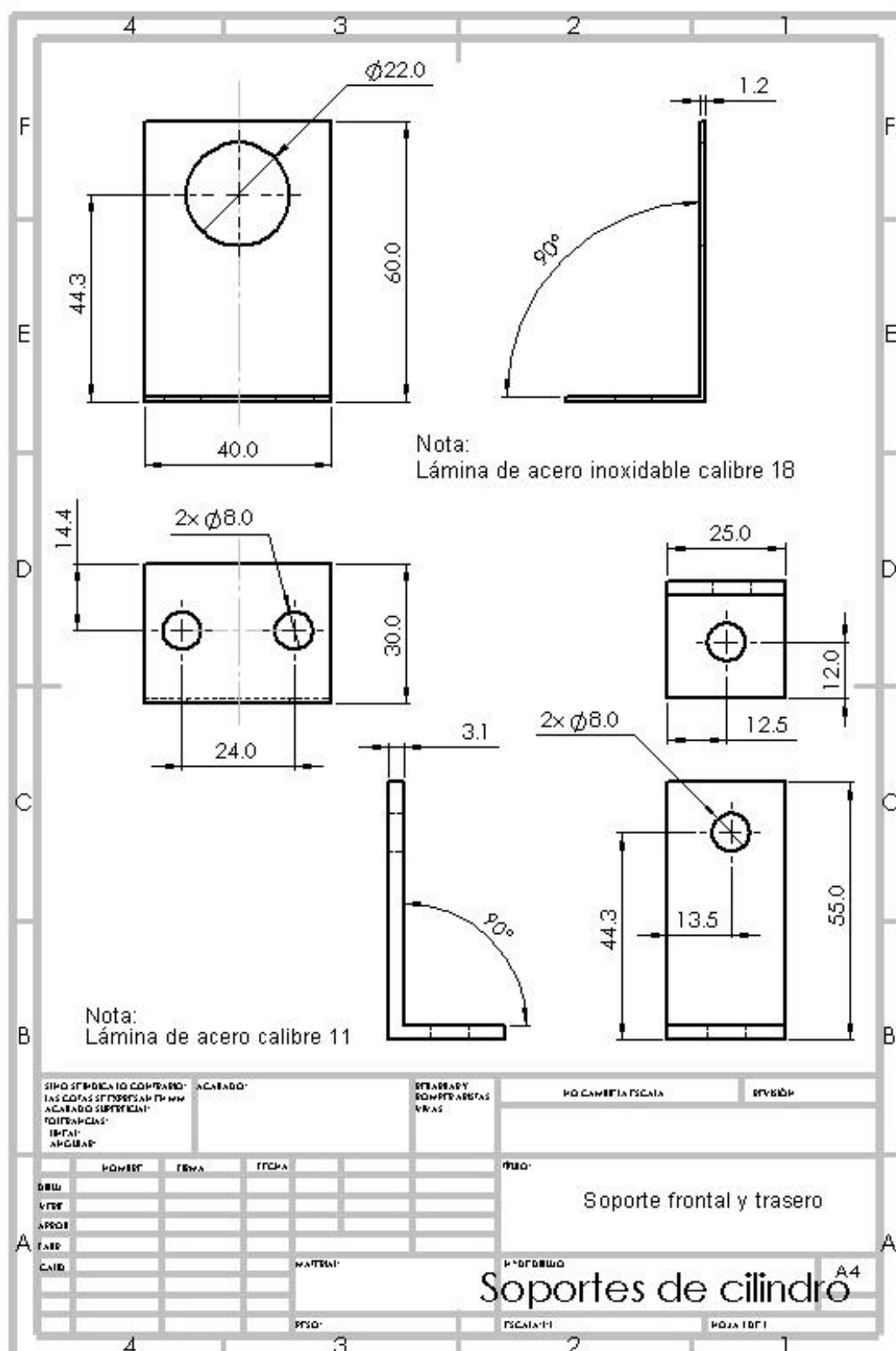
## 7. BIBLIOGRAFÍA

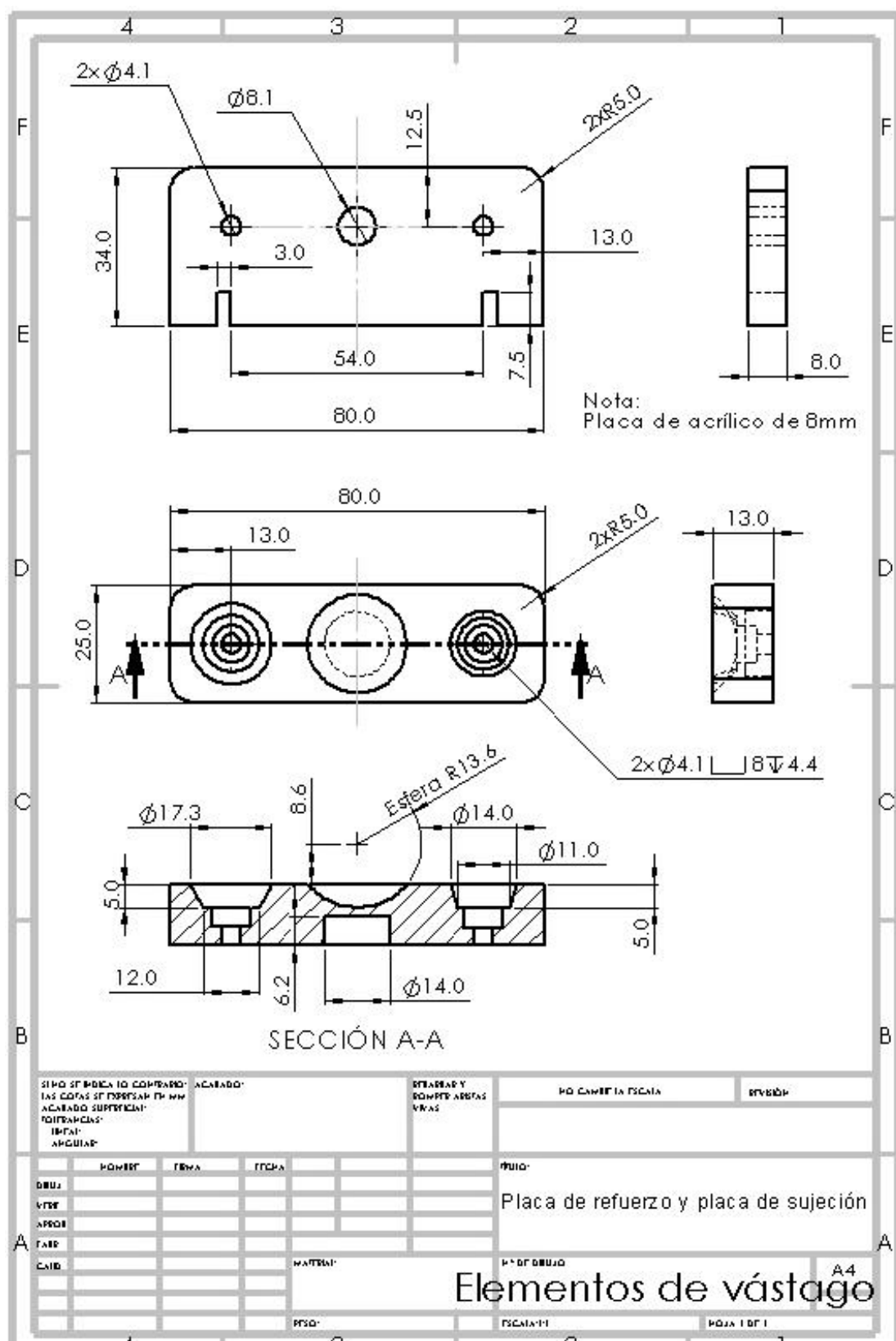
- [1] MONTILLA C., ARROYAVE J. IDENTIFICACIÓN DE CANALES DE COMUNICACIÓN, CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE ABIERTO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE. TRABAJO DE GRADO MAESTRÍA EN SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE PRODUCCIÓN. PEREIRA. U.T.P. 2006.
- [2] NARVÁEZ C., MARÍN J. CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA DIDÁCTICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO BASADO EN PC. TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE TECNÓLOGO MECÁNICO. PEREIRA. U.T.P. 2013.
- [3] AEROMODELISMO-ELECTRÓNICA-CNC. SOFTWARE PARA CNC. ESPAÑA. 27 de Agosto de 2018. Disponible en: <http://tallerdedalo.es>.
- [4] TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN CNC. TARJETA DE INTERFAZ CNC. 14 de Agosto de 2018. Disponible en: <https://www.rockcliffmachine.com/>.
- [5] GECKODRIVE MOTOR CONTROLS. G540 4-AXIS DIGITAL STEP DRIVE USER GUIDE. 12 de Agosto 2018. Disponible en: <https://www.geckodrive.com/g540-4-axis-digital-stepper-drive.html>.
- [6] ELECTRONIC COMPONENTS SUPPLIER. MACH3 5 AXIS CNC INTERFACE BOARD INSTRUCTION. 18 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.hobbytronics.co.za/Content/external/473/Breakout-Board-Manual.pdf>.
- [7] GECKODRIVE MOTOR CONTROLS. DIGITAL STEP DRIVE USER GUIDE. 20 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.geckodrive.com/g250x-digital-stepper-drive.html>.
- [8] MAQUINARIA CNC PARA CORTE POR PLASMA. MANUAL MACH3-ESPAÑOL. ESPAÑA. 20 de Febrero de 2019. Disponible en: [http://www.xmmatic.es/Img\\_Files/Manuales/Manual%20Mach3%20-%20Espanyol.pdf](http://www.xmmatic.es/Img_Files/Manuales/Manual%20Mach3%20-%20Espanyol.pdf).
- [9] BLOG DE TECNOLOGÍA. ¿QUÉ ES G-CODE?. 13 de Julio de 2019. Disponible en: <https://polaridad.es/que-es-g-code/>.

## 8. ANEXOS

### Anexo A. Planos tecnológicos de la base de sujeción automática.

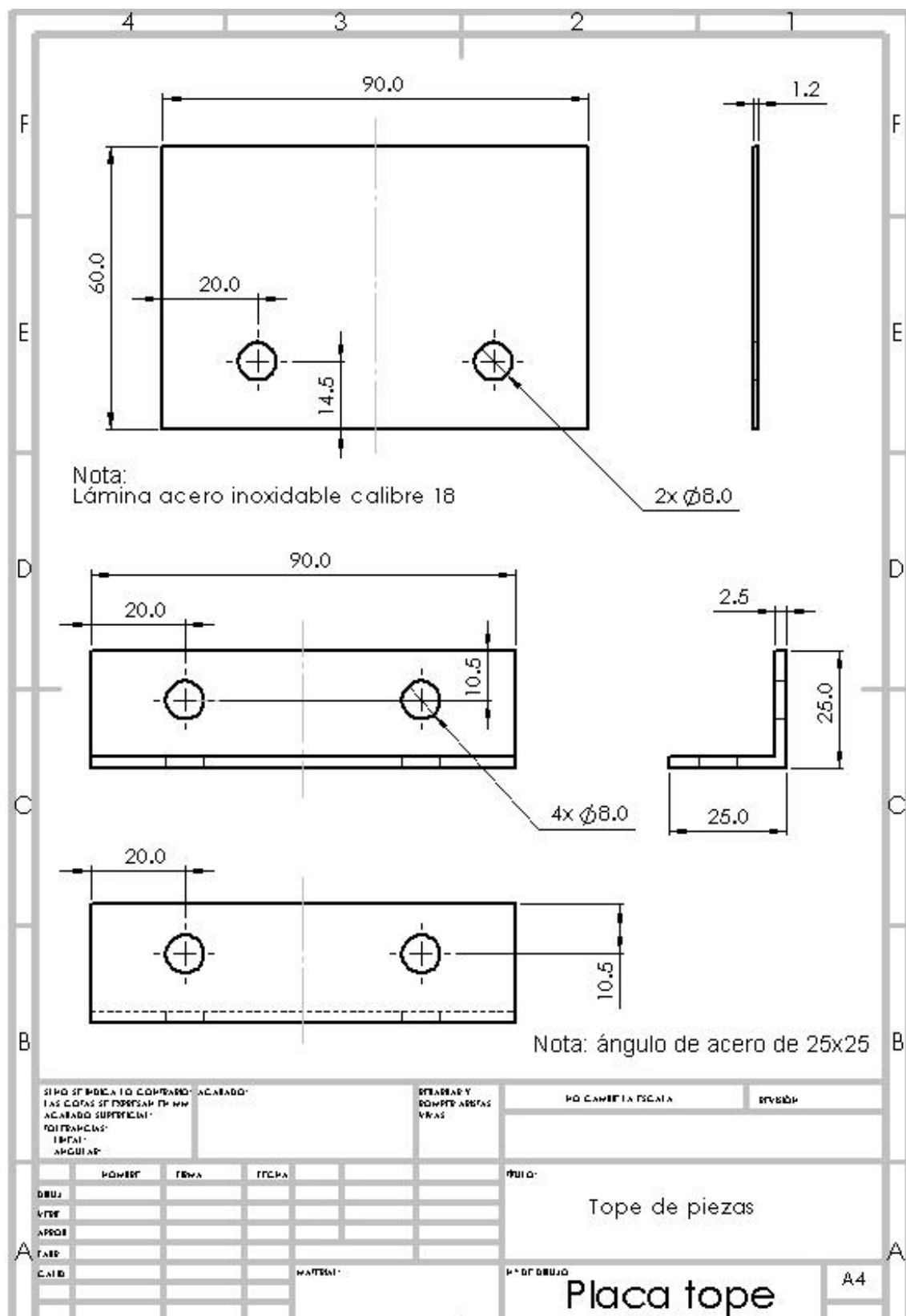
















En el plano anterior se acotaron únicamente las dimensiones que varían de los pallets, ya que todos tienen la misma geometría general que se aprecia en el plano del Pallet 1.

## **Anexo B. Programas de mecanizado en código-G usados.**

### **Programa pieza A**

%

N100 G21

N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90

N120 T1 M6

N130 G0 G90 G54 X-7.498 Y-3. A0. S3500 M3

N140 Z2.5

N150 G1 Z-2.45 F50.

N160 Y57. F100.

N170 X-4.499

N180 Y0.

N190 X-1.5

N200 Y57.

N210 X1.5

N220 Y0.

N230 X4.499

N240 Y57.

N250 X7.498

N260 Y-3.

N270 G0 Z2.5

N280 X-7.498

N400 Y-5.5

N410 G0 Z2.5

N420 X1.5 Y28.

N470 G1 Z-2. F25.  
N480 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N490 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N500 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N510 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N520 G1 Z-3. F25.  
N530 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N540 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N550 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N560 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N570 G1 Z-4. F25.  
N580 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N590 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N600 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N610 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N620 G1 Z-5. F25.  
N630 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N640 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N650 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N660 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N670 G1 Z-6. F25.  
N680 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N690 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N700 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N710 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N720 G1 Z-7. F25.  
N730 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N740 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N750 X0. Y26.5 I1.5 J0.

N760 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N770 G1 Z-8. F25.  
N780 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N790 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N800 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N810 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N820 G1 Z-9. F25.  
N830 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N840 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N850 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N860 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N870 G1 Z-10. F25.  
N880 G3 X0. Y29.5 I-1.5 J0. F80.  
N890 X-1.5 Y28. I0. J-1.5  
N900 X0. Y26.5 I1.5 J0.  
N910 X1.5 Y28. I0. J1.5  
N920 G0 Z0.  
N930 M5  
N940 G91 G28 Z0.  
N950 G28 X0. Y0. A0.  
N960 M30  
%

### **Programa pieza B**

%  
N100 G21  
N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90  
N120 T1 M6  
N130 G0 G90 G55 X-7.998 Y-3. A0. S3500 M3

N140 Z2.5  
N150 G1 Z-2.5 F50.  
N160 Y46. F80.  
N170 X-4.799  
N180 Y0.  
N190 X-1.6  
N200 Y46.  
N210 X1.6  
N220 Y0.  
N230 X4.799  
N240 Y46.  
N250 X7.998  
N260 Y-5.5  
N410 G0 Z1.  
N420 X1.5 Y35.5  
N430 Z-2.  
N530 G1 Z-2.85 F25.  
N540 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N550 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N560 X0. Y34. I1.5 J0.  
N570 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N580 G1 Z-3.8 F25.  
N590 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N600 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N610 X0. Y34. I1.5 J0.  
N620 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N630 G1 Z-4.75 F25.  
N640 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N650 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5



N660 X0. Y34. I1.5 J0.  
N670 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N680 G1 Z-5.7 F25.  
N690 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N700 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N710 X0. Y34. I1.5 J0.  
N720 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N730 G1 Z-6.65 F25.  
N740 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N750 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N760 X0. Y34. I1.5 J0.  
N770 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N780 G1 Z-7.6 F25.  
N790 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N800 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N810 X0. Y34. I1.5 J0.  
N820 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N830 G1 Z-8.55 F25.  
N840 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N850 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N860 X0. Y34. I1.5 J0.  
N870 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N880 G1 Z-9.5 F25.  
N890 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.  
N900 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5  
N910 X0. Y34. I1.5 J0.  
N920 X1.5 Y35.5 I0. J1.5  
N930 G1 Z-10. F25.  
N940 G3 X0. Y37. I-1.5 J0. F50.

N950 X-1.5 Y35.5 I0. J-1.5

N960 X0. Y34. I1.5 J0.

N970 X1.5 Y35.5 I0. J1.5

N980 G0 Z0.

N990 M5

N1000 G91 G28 Z0.

N1010 G28 X0. Y0. A0.

N1020 M30

%

### **Programa pieza C**

%

N100 G21

N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90

N130 G0 G90 G56 X-7.498 Y-3. A0. S3500 M3

N140 Z2.5

N150 G1 Z-2.5 F50.

N160 Y49. F100.

N170 X-4.499

N180 Y0.

N190 X-1.5

N200 Y49.

N210 X1.5

N220 Y0.

N230 X4.499

N240 Y49.

N250 X7.498

N260 Y-3.

N410 G0 Z2.5

N420 X1.5 Y25. Z-2.2  
N430 G1 Z-3.5 F25.  
N440 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N450 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N460 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N470 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N480 G1 Z-4.5 F25.  
N490 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N500 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N510 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N520 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N530 G1 Z-5.5 F25.  
N540 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N550 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N560 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N570 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N580 G1 Z-6.5 F25.  
N590 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N600 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N610 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N620 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N630 G1 Z-7.5 F25.  
N640 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N650 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N660 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N670 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N680 G1 Z-8.5 F25.  
N690 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N700 X-1.5 Y25. I0. J-1.5

N710 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N720 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N730 G1 Z-9.5 F25.  
N740 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N750 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N760 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N770 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N780 G1 Z-10. F25.  
N790 G3 X0. Y26.5 I-1.5 J0. F50.  
N800 X-1.5 Y25. I0. J-1.5  
N810 X0. Y23.5 I1.5 J0.  
N820 X1.5 Y25. I0. J1.5  
N830 G0 Z0.  
N840 M5  
N850 G91 G28 Z0.  
N860 G28 X0. Y0. A0.  
N870 M30  
%